

# IMITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報

Vol.44 July 1970

配電の近代化特集

7

世界貿易センター納め スポットネットワーク受電設備



未来を開拓する





## 配電の近代化特集

## 目次

## 《特集論文》

配電の自動化システム	芝瀧寿宏	859
最近のレギュラネットワーク配電とその機器	梅本隆司・西迫静隆・魚住幸男	863
世界貿易センタビル納めスポットネットワーク受電設備		
過密都市架空配電用機器の技術開発	梅本隆司・片山明・阿部智・福田信夫・佐藤洋一	876
青木清・井上俊輔・宇佐見重夫・勝田久登・庄司忠一・岡田正歩・魚住幸男	885	
最近の配電用避雷器	永井信夫・但田昭司・三住日出夫	896
LOE形高圧地絡離電装置	天野恒・松本忠士・原邦芳	901
PO形乾式計器変圧変流器	光本晃造・小野達男・藤井吉秋	906
スポットネットワーク用FLK形限流ヒューズ	岩崎行夫・野田肇	912

## 《普通論文》

MK形、SK形制御スイッチ	立石俊夫	919
中部電力高根第一発電所 100,000 kVA/100,000 kW 発電電動機および運転制御装置		
観測船気象レーダ装置	森与志彦・石井明・山本潤二	923
半導体Si中不純物の放射化分析	御法川秀夫・紙谷栄人・小杉明	934
新形小容量サイリスタインバータ	高木高志・池田洋・杉岡八一	938
表面処理による導波管の低損失化	中原昭次郎・堀切賢治・太田基義・杉浦俊夫	952
周波数安定化ガスレーザ装置	谷口一郎・富島一成・永井治彦	958
鉄損の連続試験装置	土屋英司・鈴木裕・下井弘	964
Xバンドガンダイオードと発振器	白幡潔・小木曾弘司・三木秀三郎・三井茂・中村泰而	969

## 《新製品紹介》

パネルクーラータイプ変圧器・ステアエースKSS形エスカレータ・浮袋式の網干出装置	完成 一のり養殖の革命	977
--	-------------	-----

## 《ニュースフラッシュ》

110 kW (150 PS) ユニバーサルEDダイナモータ完成・370 kW (500 PS) 15,000 rpm EDダイナモータ (うず電流動力計) 完成	980
---	-----

## 《特許と新案》

水銀放電灯・高圧水銀灯・單相誘導電動機の速度制御装置	917
----------------------------	-----

## 《ハイライト》

第15回全国優良電設資料展で建設大臣賞を受賞 (三菱NFU形永久ヒューズ付しゃ断器)

## 表紙1 世界貿易センタビル納めスポットネットワーク受電設備

東京、国電浜松町駅前に今春竣工した。40階建ての世界貿易センタビルに納入したスポットネットワーク受電設備である。

3回線引込みで、変圧器は乾式 1,500 kVA, 21.5 kV/240-415 V が3台、ネットワークプロテクタは 2,000 A 級 3 台、テイクオフ装置は 2,000 A 6回線引出しとなっている。

国内最大の実績を有するネットワーク技術を基礎にし、特高キュービクル、断路器、乾式変圧器、低圧キュービクル、しゃ断器、ネットワークレー絶縁バスダクト、限流ヒューズなどの諸技術が総合されており、電力流通の近代化に貢献している。

## 表紙2 MS形電磁開閉器

## 表紙3 VKG形真空しゃ断器

## 表紙4 万博三菱未来館第5室 あなたも参加する



**SPECIAL EDITION FOR MODERNIZATION OF POWER DISTRIBUTION****CONTENTS****SPECIALLY COLLECTED PAPERS**

Automatic Meter Reading and Control Systems in Power Distribution.....	T. Shibataki...859
Recent Regular Network Distribution and Equipment.....	T. Umemoto • S. Nishizako • Y. Uozumi...863
Spot Network System for the World Trade Center Building in Tokyo.....	T. Umemoto • A. Katayama • S. Abe • N. Fukuda • Y. Sato...876
Development of Modernistic Apparatus for Overhead Power Distribution in Overcrowded Cities.....	K. Aoki • S. Inoue • S. Usami • H. Katsuta • C. Shoji • M. Okada • Y. Uozumi...885
Lightning Arresters for Distribution Lines.....	N. Nagai • S. Tada • H. Misumi...896
Type LOE Ground Relays for 6,600 or 3,300 V Lines.....	H. Amano • T. Matsumoto • K. Hara...901
Dry Type Instrument Transformers for Metering Service, Type PO Series.....	K. Mitsumoto • T. Ono • T. Fujii...906
Type FLK Current Limiting Fuses for Spot Network Receiving Systems.....	Y. Iwasaki • H. Noda...912

**TECHNICAL PAPERS**

Type MK and SK Control Switches.....	T. Tateishi...919
A 100,000 kVA/kW Generator Motor and Control Equipment for Takane Pumped Storage Power Plant No. 1.....	Y. Mori • A. Ishii • J. Yamamoto...923
A Weather Radar for Marine Weather Observation Vessel.....	H. Minorikawa • Y. Kamiya • A. Kosugi...934
Activation Analysis of Impurities in Semiconductor Si.....	T. T. Takagi • H. Ikeda • Y. Sugioka...938
Improved Auxiliary Impulse-Commuted Inverters.....	S. Tamii • Y. Tokutomi...946
Microwave Insertion Loss of Waveguide with Protective Coatings.....	S. Nakahara • K. Horikiri • M. Ota • T. Sugiura...952
Frequency Stabilized Gas Laser.....	I. Taniguchi • K. Tomishima • H. Nagai...958
Continuous Iron Loss Tester.....	H. Tsuchiya • H. Suzuki • H. Shimo...964
X-band Gun Diodes and Oscillators.....	K. Shirahata • K. Ogiso • S. Miki • S. Mitsui • T. Nakamura...969
<b>NEW PRODUCTS</b>	977
<b>NEWS FLASH</b>	980
<b>PATENT AND UTILITY MODEL</b>	917

**HIGH LIGHT**..... Type NFU breaker with new developed permanent fuse

**COVER :**

## 1. Spot Network Systems for the World Trade Center Building in Tokyo

Illustrated is spot network electric power receiving equipment delivered to a forty storied skyscraper, the World Trade Center Building, completed last spring in front of Hamamatsucho station of the Japanese National Railways in Tokyo.

It comprises three circuit incoming lines, three 1,500 kVA 21.5 kV/240-415 V dry type transformers, three 2,000 A frame network protectors and take-off equipment of six circuits outgoing lines of 2,000 A frame.

Based on the network technique having the richest experience in this country, extra high voltage cubicles, disconnecting switches, low voltage cubicles and CB's, network relays, insulated-conductor bus ducts and current limiting fuses are installed in combination, making a great contribution to the modernization of power utility.

## 2. Type MS magnetic Contactor

## 3. Type VKG vacuum circuit breaker

## 4. EXPO '70 Mitsubishi Pavilion Room 5 (You will also participate)

# HIGHLIGHT

## 第15回全国優良電設資材展で建設大臣賞を受賞！

### 三菱 NFU形永久ヒューズ付しゃ断器

去る5月26日から6月1日まで、東京都立産業会館において開催された第15回全国優良電設資材展の製品コンクールに、出品した三菱NFU形永久ヒューズ付しゃ断器が、栄えある最高位の「建設大臣賞」を受賞した。

これは世界で初めての無限大のしゃ断容量、繰り返ししゃ断が可能ななどの特長が認められたものである。三菱SCHATシリーズノーヒューズしゃ断器に、この永久ヒューズ付しゃ断器Uシリーズが加わったことにより、あらゆる要求にも応じられるようになった。

なお、永久ヒューズについては、すでに日刊工業新聞社の1969年度10大新製品にも選ばれている。

この三菱NFU形永久ヒューズ付しゃ断器の概要はつぎのとおりである。



受賞した建設大臣賞

当社中央研究所は、昨年9月、アルカリ金属の特異な電気的・熱力学的特性を最大限に活用した、全く新しい電力用限流素子である「永久ヒューズ」を発表したが、その応用機器の一例として、当社福山製作所において「永久ヒューズ付しゃ断器」を開発した。

これは、限流は永久ヒューズで、しゃ断はノーヒューズしゃ断器と同じ機構を使った接点で行なわせるもので、低圧電路の電源容量の増大に対処すると同時に、電気設備の省力化と安全性を追求した画期的な製品である。

#### ●永久ヒューズの概要

永久ヒューズは二つの電流端子と、この間を電気的に接続するナトリウムの電路からなりたっており、短絡電流の発生によりナトリウム部分が自己のジュール熱によって、高温・高圧のプラズマに変化し、端子間の抵抗が急激に増加するが、短絡電流がとり除かれた後は千分の数秒で旧状に復する。

これまでのヒューズにおいては、その銀エレメントが溶断した場合再使用不可能であるので、電路の連続給電および省力化の点で難があり、自己復旧形のヒューズの出現が待たれていたが、永久ヒューズの開発によりその期待は現実のものとなった。

この永久ヒューズのため、異常電流はその立上り途中で極端に小さくしぼられてしまうので、くりかえして使える限流素子としていろいろな用途が考えられ、その原理・応用については国内外に100件以上の特許・実用新案を申請中であり、一部米国特許が成立している。

## ●NFU形永久ヒューズ付しゃ断器

永久ヒューズ付しゃ断器は従来のノーヒューズしゃ断器の構造をそのままつかい、永久ヒューズをそれに直列に接続しコンパクトにまとめたものである。

永久ヒューズには大きな率の限流作用があるが、その特長とする自己復旧性のため、しばられた小電流を確実にしゃ断する接点部分が必要である。

ノーヒューズしゃ断器は、短絡発生後千分の数秒で接点が開離するが、このようにはやい接点開離は他の種類のしゃ断器に例をみない。したがって永久ヒューズとノーヒューズしゃ断器とを組み合わせることは、短時間自己復旧と短時間接点開離の二つの特長を互いに生かすことになり、最適の限流としゃ断の協調が得られる。この意味でNFU形永久ヒューズ付しゃ断器は、最も理想的な永久ヒューズの応用製品である。

## ●特長

これから電気設備には、給電の連続性、省力化、生命・財産に対する安全性および経済性がますます要望されるであろう。そのときにあたり、十分なしゃ断容量と大きな限流を行なう小形しゃ断器が必要となってくることは言をまたない。永久ヒューズ付しゃ断器は下記の利点をもち、前述の要望にこたえるものである。

- (1) 短絡電流を大きく限流しゃ断し、そのしゃ断容量はAC 460 V 200 kAである。
- (2) くりかえし再使用可能な永久ヒューズをつかっているため、短絡電流しゃ断の責務完了後とりかえる必要がなく、給電の連続、電気設備の省力化の目標に合致する。
- (3) 全体が絶縁物のモールドケースでおおわれており、短絡電流しゃ断時のしゃ断エネルギーの大部分は永久ヒューズのなかで消費され、しゃ断器外部にしゃ断エネルギーを放出しない。
- (4) 単に配線の保護を行なうだけでなく、同じ系統の他の機器の保護をも行ない得る。

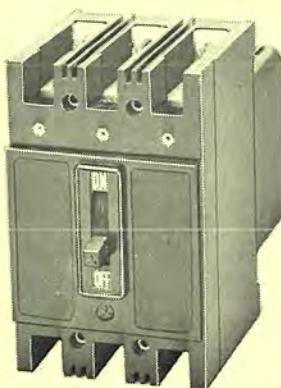


図1 永久ヒューズ付しゃ断器  
100 A フレーム NFU-100



図2 永久ヒューズ付しゃ断器  
225 A フレーム NFU-225



図3 永久ヒューズ

〔福山製作所〕

# 「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.316:621.316.7

## 配電の自動化システム

芝滝壽広

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P 859~862

電力系統全体の運用管理の近代化・省力化の一環として、配電分野における自動化システムの導入は、重要な課題となっている。ひとくちに配電の自動化といつても、ネットワークプロテクタやクローザーのような局所的な自動化機能を追求するものから、中央集中的な総合システムとしての自動化まで考えられる。本文は、配電系統における中央監視制御的な自動化システムとして、配電線の遠方制御システムと遠隔自動検針システムをとり上げ、これらの有機的な結合について概説したものである。



UDC 621.316.1

## 最近のレギュラネットワーク配電とその機器

梅本隆司・西迫静隆・魚住幸男

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P 863~875

都市の繁華街、ビジネスセンタなどへの電力供給方式として、低圧レギュラネットワーク方式が適していることから、わが国においても実施例が増加している。

三菱電機は低圧ネットワーク方式について国内最大の製作実績を有し、その技術成果を逐次発表して来たが、昨年から本年にかけて東京電力・新宿国道地区および関西電力・神戸元町地区にネットワーク機器を納入し、都心部における電力供給の高信頼度化に貢献している。

本文は、これら最新のネットワーク機器の解説だけでなく、最近のレギュラネットワーク技術



の主要点にも触れている。

UDC 621.316.3

## 世界貿易センタビル納めスポットネットワーク受電設備

梅本隆司・片山 明・阿部 智・福田信夫・佐藤洋一

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P 876~884

東京をはじめとする大都市において、数年前から、高層ビルに低圧スポットネットワーク方式が適用され、実施例も増加しつつある。

わが国で最も豊富な経験を有する三菱電機のネットワーク技術を織り込んだスポットネットワーク受電設備は、昨年から東京・大阪・福岡各市のビルに納入されいずれも順調に動作している。ここに取り上げた、世界貿易センタビル向けスポットネットワーク受電設備は、本格的な超高層ビルに適用された最初のものであり、非常に意義深いものである。

本文は、スポットネット



ワークの基本事項と、世界貿易センタビルワーク受電設備の紹介を行なっている。

UDC 621.316.5:621.314.2:621.315

## 過密都市架空配電用機器の技術開発

青木清・井上俊輔・宇佐見重夫・魚住幸男・勝田久登・庄司忠一  
岡田正歩・魚住幸男

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P 885~895

過密都市における6kV架空配電の現状を安全性、信頼性、省力化および環境との調和の観点から総合的に見直し、10~15年後を見通した近代化用の機器を開発した。

真空スイッチ管を一相ごとにエポキシモールドと300A手動式柱上開閉器、真空しゃ断器と避雷器を内蔵した、50+125kVAを最大容量とするV結線三相4線式柱上変圧器、および一相ごとにゴムモールドで絶縁した分岐ユニットと、ヒューズユニットをプラグイン式で接続する分岐箱は、それぞれ機器単体で開発の目的を達成するとともに、



機器相互間の保護協調も十分にえられている。

UDC 621.316.933

## 最近の配電用避雷器

永井信夫・但田昭司・三住 日出夫

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P 896~900

三菱電機では昭和5年に避雷装置の製作を開始して以来、発電用を含むあらゆる定格の避雷器に対し製作・使用実績を有する。

本文では、配電用避雷器に関する最近の話題の中から、6.6kV用変圧器内蔵用として開発したエポキシモールド容器使用の三相一括構造避雷器と、22kV 33kV配電系統に使用される各種避雷器について報告する。



UDC 621.316.925

## LOE形高圧地絡絶電装置

天野 恒・松本忠士・原 邦芳

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P 901~905

高圧需要家用地絡絶電装置は、従来各メーカー独自の特性のものを製作していたが、ユーザでの使用時において、需要家の上位系統である電力会社の配電用変電所の地絡方向絶電器との保護時間協調の問題、および離電装置（絶電器・零相変流器）の端子付号の不統一から来る問題があった。

これらの問題を解決するため、JIS では昭和43年8月にJIS C 4601 (1968) を制定し、全国的に規格の統一を計った。

当社としても、このJIS規格を満足するLOE-4V-R, LOE-4C-RおよびLOE-5V形地絡絶電装置を



昭和44年8月から製作しているので、その使い方について述べる。

UDC 621.314.22.08

## PO形乾式計器用変圧変流器

光本晃造・小野達男・藤井吉秋

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P 906~911

配電回路用機器の信頼性の向上が強く要望される今日、従来の6kV用油式計器用変成器にとってかわり、樹脂モールド乾式変成器がその信頼度を高く評価され、各電力会社ともこれを広く採用するすう勢にある、当社では変成器の絶縁方式として樹脂モールドの優秀性に着目し、エポキシ樹脂がわが国に紹介されて以来いち早くその研究開発に取り組んだ。昭和34年製品化に成功しはじめて市場へ送り出して以来十年余、材料・配合・工作技術・形狀設計において幾多の改良を加え、現在では豊富な種類を有するモールド変成器のシリーズが完成している。このうち



本文では電力需給用として用いられるPO形屋外用箱入り変成器についてその概要を紹介する。

UDC 621.316.923

## スポットネットワーク用FLK形限流ヒューズ

岩崎行夫・野田 雄

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P 912~915

スポットネットワーク受電設備の低圧側には、きわめて大きな短絡故障電流を非常に高速度にしゃ断することができ、しかも故障回路の熱的、機械的被害を最小限に押さえができる小形のしゃ断保護装置が必要である。

この要求にこたえるため、当社ではFLK形という、スポットネットワーク受電設備のプロテクタヒューズ、およびティクオフヒューズとして使用される定格電圧500V、定格電流500~5,000A、しゃ断容量対称200KAの限流ヒューズの全シリーズを完成したので報告する。



# 「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.316.54

MK形、SK形制御スイッチ

立石俊夫

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P919~922

産業界の設備、機械の自動化合理化などの普及発達とともに、制御スイッチの需要の伸びにはいちじるしいものがあり、かつ性能の向上、長寿命化、とくに操作時の激しい衝撃に耐える信頼性が要求されている。また一方複雑化する電力系統のため、限られた配電盤により多くの制御スイッチを収納する目的から、占有面積の小さい超小形制御スイッチの要望が強い。

この要望にこたえるため、高信頼性、長寿命を目標としたMK形制御スイッチ、超小形を目標としたSK形制御スイッチの開発を計画し製品化した。以下この開発にあたっての考え方、方、長寿命化、超小形化特有の問題点、および試験結果について紹介する。

UDC 621.313.12 / 13:621.316.71

中部電力高根第1発電所100,000kVA/100,000kW

発電電動機および運転制御装置

森与志彦・石井明・山本潤二

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P923~933

本発電電動機は、世界最大容量のテリヤ形ポンプ水車が直結される揚水発電機である。発電電動機の電動機起動は、制動巻線起動方式であるが、とくに起動入力を低く制限するため主変圧器の三次巻線による低減電圧起動が採用された。本機は、当社はじめての揚水発電機であり、自己起動を行なう同期電動機としても最大の記録品である。このため実機製作に先立ち種々の試験研究が行なわれ、その成果をもじこで慎重に設計製作された。本文では、その構造、運転制御方式の概要を述べるとともに、現地における運転試験結果のおもなものを紹介して

いる。

UDC 621.396.96 [551.46.07]

観測船気象レーダ装置

御法川秀夫・紙谷栄人・小杉明

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P934~937

わが国における気象レーダ網は年々整備され、ほぼ日本全土をおおうに至った。一方、海上気象観測用として気象レーダを積載した観測船も順次建造されるすう勢にある。本文では、昭和44年に建造された観測船「啓風丸」に積載された当社製作のPC-52形気象レーダの概要を紹介した。陸上用気象レーダと比較し、その特長を述べ、船上用レーダの最も大きな特色である動振修正装置については特に1章をきいてやや詳しく報告した。



UDC 621.382.543.53

半導体Si中不純物の放射化分析

高木高志・池田洋・杉岡八一

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P938~945

熱中性子放射化分析法を非解説分析法として、半導体用Si中の不純物分析に適用し、その濃度を求めることができたのでその結果を述べる。ここで取扱った不純物元素は、Sb, As, Au, Naである。



UDC 621.314.5

新形小容量サイリスタインバータ

民井精三・徳富義宏

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P946~951

静止形インバータが、信頼性・保守性・電気性能の各面で従来のMGと比較し、多くのメリットを有していることはすでに周知のところであり、車両用、電力用、通信機器用、計算機用等の予備電源、無停電源および一般の周波数変換装置として、きわめて多くの分野で使用されているが、経済性および寸法的にいまだMGに劣る分野もあった。しかし需要の増加に伴い、市場的にはMGに劣る面が改善されかつ予備電源等に使用したとき、バッテリーの消費電力が少ない等、種々の面で高性能化された小形で経済的なインバータが要望されており、このためわれわれは種々研究をかさね、ついにこれらの面で初期的なインバータ方式の開発に成功したので、本文によりその一端を紹介する。

UDC 621.372.8, 667.613, 686.41

表面処理による導波管の低損失化

中原昭次郎・堀切賢治・太田基義・杉浦俊夫

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P952~957

最近、工場地帯で発生する種々の腐食性ガスによる電子機器の汚染・腐食が無視できなくなってきた。とくに、衛星通信のように微弱な電波を受信する場合には、屋外に設置してある導波管は長期間にわたって安定で、可能な限りマイクロ波損失が小さいことが要求される。

本報告は、従来から使用されている金めっき処理した導波管よりも、マイクロ波損失が約10%も少なく、耐熱性、耐候性がすぐれ、コストも廉価なワニ塗布処理した導波管について述べてある。



UDC 535.4, 535.8:854, 535.33

周波数安定化ガスレーザ装置

谷口一郎・富島一成・永井治彦

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P958~963

レーザ干渉測長機の光源として、発振周波数を安定化した單一周波数のヘリウムネオンガスレーザ装置を開発した。発振周波数を安定化させるために、温度変化によるレーザ共振器長の変化を補償する新しい方式を採用した。試験装置により得られた周波数安定度は、スイッチオン3.5時間後で約 $3 \times 10^{-7}/4$ 時間であった。本方式による周波数安定化レーザは小形・簡便・安価な装置である。本文では、周波数安定化の方式・レーザ共振器の構造・実験結果について詳説し、温度制御やサーボ制御を用いた従来の安定化方式による実験結果との比較を述べた。



UDC 62-408:620.19

鉄損の連続試験装置

土屋英司・鈴木裕・下井弘

三菱電機技報 Vol. 44. No. 7・P964~968

けい素鋼帶の磁気試験に際して、得られる情報量を多くしつつ省力化を計るために連続磁気測定が最適で、測定装置についてすでに従来から種々な基準的検討を加えてきた。今回、装置の電子回路をすべてsolid state化することによりcompactな形に仕上げ、装置の安定度、応答速度を改良するとともに、自動運転もできるようにした。

実際に方向性けい素鋼帶を連続走行させて鉄損を記録するには、使用した走行装置からの制約により47m/minの走行速度までしか実験できなかったが、走行に伴う付加誤差は、±1.5%以内という結果が得られた。

装置各系の応答速度から判断すると、この鉄損連続装置は最大40m/min程度の走行速度まで使用可能と考えられる。

# 「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.373 Others

## Xバンドガンダイオードと発振器

白幡 潔・小木曾 弘司・三木 秀二郎・三井 茂・中村泰而

三菱電機技報 Vol. 44, No. 7・P969~975

開発したXバンドガンダイオードと、このダイオードを用いたガン発振器の概要について述べてある。ガンダイオードは材料の問題が完全に解決されたとは言えないが、出力・信頼性とも実用上十分と考えられるレベルに達し、温度依存性の小さな良質のダイオードが製作できるようになった。発振器の構成にあたっては、外部Qを高め、必要ならば温度依存性をいっそう改善し、安定化を図ることが要求される。一つのきわめて有効な方法として帯域阻止ろ波器装荷法が述べられている。50台1ロットとして製作した発振品がや、詳細に紹介されているほか、バラクタ  による電子同調特性、発振器をホモダイン検波器として用いた場合の特性等についても記されている。

## 配電の自動化システム

芝 滉 寿 宏\*

## Automatic Meter Reading and Control Systems in Power Distribution

Kobe Works Toshihiro SHIBATAKI

As a part of the modernization and labor saving on the operation and control of the whole power systems, introduction of automatization in the field of power distribution forms an important problem, too. Though there are a variety of methods for automatization equipments of power distribution, beginning with network protectors and reclosers pursuing local automatic function, up to the centralized synthetic systems.

Taken up in this article are the remote control system of the distribution, load equipments and the automatic meter reading system for the central supervisory control, of which brief description is made with organic combination between them.

## 1. まえがき

産業規模の拡大・都市における諸活動の機械化・一般家庭における電化機器の普及などにより、電力への依存度は高まり、配電網の規模もますます大きく、かつ複雑化しているが、加えて、情報化社会への機運、労働力の推移などの社会情勢をみると、電力流通の最先端部門としての配電分野における自動化システムの導入もまた、電力系統の総合運用の合理化・省力化の一環として、きわめて重要な課題となっている。

ひとくちに配電における自動化といっても、その内容はさまざまであるが、機能上から次のように分類できるであろう。

- (1) 配電線運用管理の自動化
- (2) 配電線保守管理の自動化・省力化
- (3) 検針業務の自動化
- (4) オフピーク電力需要の開拓による総合効率化

このような見地からすれば、現在、各電力会社・各電力需要家の多くで採用されているレギュラネットワーク配電方式やスポットネットワーク受電設備の中枢をなすネットワークプロテクタも、事故の検出・処理・事故復旧の自動化をつかさどるものであり、配電線路に設置されるリクローザも、事故区間限定の自動化を果すものである。

しかし、本文では、このような局所的な自動化機能を満足するものではなく、広く、中央監視制度的な自動化機能を果すシステムについて検討したい。

## 2. 自動化のテーマ

配電系統における中央監視制御的な自動化システムとしては、次の二つが考えられる。

## 2. 1 配電線の遠方制御システム

高圧配電線に制御信号を重畠し、配電線路に存在する種々の配電機器、および需要家負荷を集中制御することにより、系統運用の円滑化、余剰電力利用の促進、電圧などの調整制御によるサービスの向上を計ることを目的としており、これに関するおもな制御対象には次のものがある。

- (1) 区分開閉器の制御（系統切り換えを含む）
- (2) 温水器用スイッチの制御
- (3) 蓄熱式暖房器用スイッチの制御

## (4) 電圧維持・調整に関する変圧器タップ切り換え

## (5) 電圧維持・調整に関するコンデンサ制御

特に、近年では、夜間のオフピーク電力を利用する温水器や暖房器が普及してきており、前述の労働力推移の問題と関連して、これらの負荷のON/OFF制御をしているタイムスイッチの保守が問題化している。したがって、このシステムでは、制御信号受信器の信頼性に留意することにより、保守管理の省力化を計ることも重要な課題である。ヨーロッパにおいて実用化されているこの種のシステムでは、上記のほかに、街路照明、交通信号、ショウウインドウ照明の制御なども行なわれている。

## 2. 2 遠隔自動検針システム

このシステムはいさまでなく、電力量計・最大需要電力計、水道メータ、ガスメータなどの遠隔自動検針を行ない、中央の計算処理装置と直結して、検針労働の省力化、料金計算の自動化、総合事務の機械化、を目指すものであるが、特に、電力の場合には、線路各部の電圧や線路負荷分布などの計測により、次のような効果も同時に期待されるものである。

- (1) 電圧の監視
- (2) 負荷管理データの収集
- (3) 状態監視（異常検出、事故発見を含む）
- (4) 保守情報の収集

## 3. 配電線制御システム

高圧配電線に、可聴周波による制御信号を重畠する方式は、AFCC（可聴周波集中制御）あるいはリップルコントロールと呼ばれ、フランスをはじめ、欧州で、かなり広く採用されてきている。これは、系統周波数の3.5倍の單一周波数信号のパルス間隔により制御項目を区別するもので信号方式的にはAM方式である。配電線自体を伝送路とするこの種の制御システムは、一般にアンサーバックを得ることが困難であるため、高圧から低圧に及ぶ機器を高い信頼度で制御するには、信号もそれに見合った、対雑音性のすぐれたものが望ましい。このような観点から、当社では、基本的にはいわゆるAFCC方式の一種であるが、周波数偏移(FS)信号をベースとした多項目制御方式を確立し、これをDICE-FS(DICEはDistribution Control Equipmentの略)と名付け、信号送信装置・受信装置の試作を推進中である。

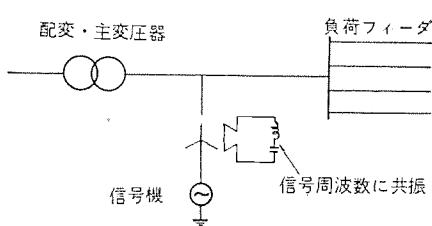


図 3.1 中性点信号注入方式  
Example of neutral point signal injection.

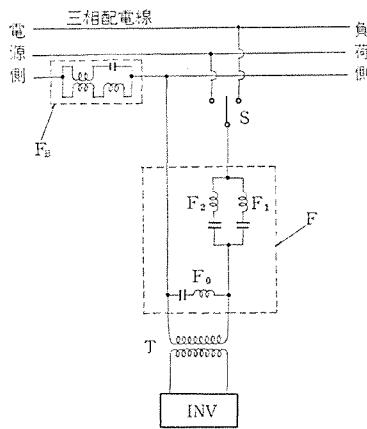


図 3.2 単相並列式信号注入方式 (2周波式)  
Example of monophase-parallel signal injection.

### 3.1 信号注入方式

配電線に制御信号を注入する方式としては、直列式・並列式・中性点注入式などいくつかの方式が知られているが、このうち、中性点注入方式は、制御信号が零相信号として伝送されるため、柱上変圧器より二次側に伝送されないので、高圧機器（区分開閉器、スタティックコンデンサ）のみでなく、低圧側負荷機器（温水器、電力量計など）をも制御しようとする目的には、柱上変圧器部分に、特別な橋絡装置を必要とするので不向きである。このような目的には、従来三相直列式、三相並列式、単相並列式が考えられているが、これを選択する条件は、信号注入点からみた電源側インピーダンスと負荷インピーダンスから決まる注入容量および、信号発生・結合装置の運用上から決められる。

これら的方式について、系統の主変圧器 10 MVA (22 kV/6.6 kV ユニットを想定) に対して、負荷の変化幅が 5~100%、負荷力率を 85% lag、負荷側の静電容量は、充電容量および力率改善用コンデンサを含めて、変化幅 1~300 μF/phase として、信号周波数 210 Hz に対する信号注入点からみたインピーダンスの最大・最小および、必要注入容量を算出比較すれば、表 3.1 に示すごとくである。(信号注入レベルは 6,600 V × 2% = 132 V とする)。

表 3.1 によれば、三相直列注入方式は、小さな注入容量ですが、注入点インピーダンスの変化幅がきわめて大きく、後述する信号発生装置の出力電圧調整幅を大きくする必要がある。また、この方式では、配電線に対して直列に接続されるため、事故時における配電線への影響を考慮する必要があるほか、結合装置で本線の大電流を扱う必要がある。三相並列注入方式は、機器が配電線に並列に接続されるため、上記のような問題もないうえ、注入点インピーダンスの変化幅もたかだか 2 倍程度なので、信号発生装置の出力電圧調整幅も、直列式に比べて小さくてすむ。しかし、電源側インピーダンスによる注入エネルギーの損失が生じるため、注入容量は大きくなる。これに対し、単相並列注入方式では、三相並列式に比べて注入容量を 1/2 とすることができる、かつ、送信装置がすべて単相式ですむ利点がある。

図 3.2 は、単相並列注入装置の基本構成図である。図は、次節に示すように、 $f_1$ ,  $f_2$  の二つの周波数から成る FS 信号を、配電線に重畳する場合について示している。

図 3.2 において、INV は、次節に示す制御信号を発生するサイリスタインバータ、F は制御信号発生装置と配電線を結合する結合装置、T は、インバータを高能率で運転するための整合用、およびインバタ回路を本線回路から絶縁する結合変圧器である。結合装置 F は、それぞれ二つの信号周波数  $f_1$ ,  $f_2$  に直列共振するフィルタ  $F_1$ ,  $F_2$  と、

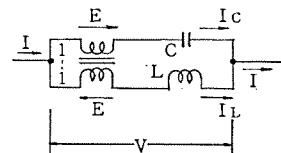


図 3.3 制御信号阻止装置  
Blocking element of control signal.

表 3.1 信号注入方式の比較  
Signal injection methods.

信号注入方式	接続図	等価回路	注入容量	注入点インピーダンス例		注入容量(*)
				最小	最大	
三相直列	配変		$\frac{e^2}{Z_0 + Z_L}$	1.9 (5% load) (300 μF)	435 (5% load) (10 μF)	3φ 3φ 0.04
三相並列	-		$\frac{e^2}{Z_0 + Z_L}$	0.775 (100% load) (1 μF)	1.25 (5% load) (300 μF)	3φ 22.5 14
単相並列	-		$\frac{e^2}{2Z_0 + 2Z_L}$	1.55 (100% load) (1 μF)	2.5 (5% load) (300 μF)	1φ 11.3 7

(\*) 信号周波数 210 Hz, 注入レベル 2% の場合

系統周波数  $f_0$  に直列共振する フィルタ  $F_0$  から構成される。

表 3.1 にみられるように、並列注入時の信号エネルギーの多くは電源側に吸収されるが、それでも通常の高圧系統で、それほど過大な注入容量とはならない。しかし、さらに上位系統からの信号伝送の場合や、電源側主変圧器容量が大きくなった場合には、信号発生装置のインバータ容量に対して無視し得ない影響をもつ。図 3.2 における  $F_B$  はこのような場合に、電源側の 1 線に設ける制御信号阻止装置である。これは、単相変圧器、リアクトル、キャパシタを図 3.3 に示すように接続したもので、その動作原理は次のようにある。

すなわち、図 3.3 のように記号を定めると、

$$V - E = j\omega L \cdot I_L \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$V + E = \frac{1}{j\omega C} \cdot I_C \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

$$I = I_L + I_C \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$$E \cdot I_L = E \cdot I_C \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

が成り立つので、これを解いて、

$$|V| = \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \cdot \frac{I}{4} \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

これから、 $L$ ,  $C$  の関係を、系統商用周波数  $f_0$  に対して  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ 、制御信号周波数  $f_1$ ,  $f_2$  に対して  $\omega L - \frac{1}{\omega C}$  が十分大きくなるように選べば、この装置端子間のインピーダンスが、系統周波数に対しては十分小さく、信号周波数に対しては高いインピーダンスをもたせることができる。また、 $I_L = I_C = \frac{I}{2}$  となるので、各構成要素の容量を小さくすることができる。

### 3.2 信号方式および受信器

DICE-FS システムに予定されている制御信号は表 3.2 に示すように 3 種類ある。信号 A, B は FS 変調波であり、信号 C は、單一周波の AM 変調である。配電線を伝ば(播)した制御信号は、Type A,

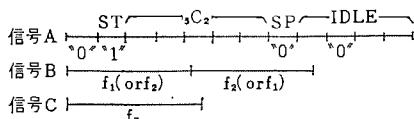


図 3.4 制御信号の構成  
Structure of control signal.

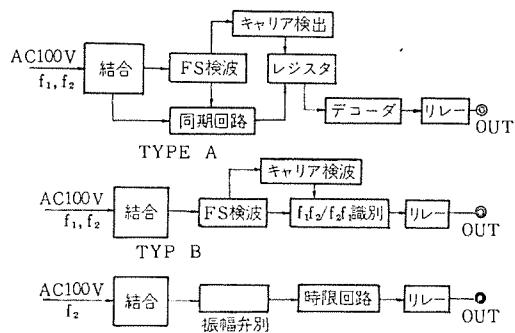


図 3.5 DICE-FS 受信器ブロック図  
Schematic of DICE-FS receivers.

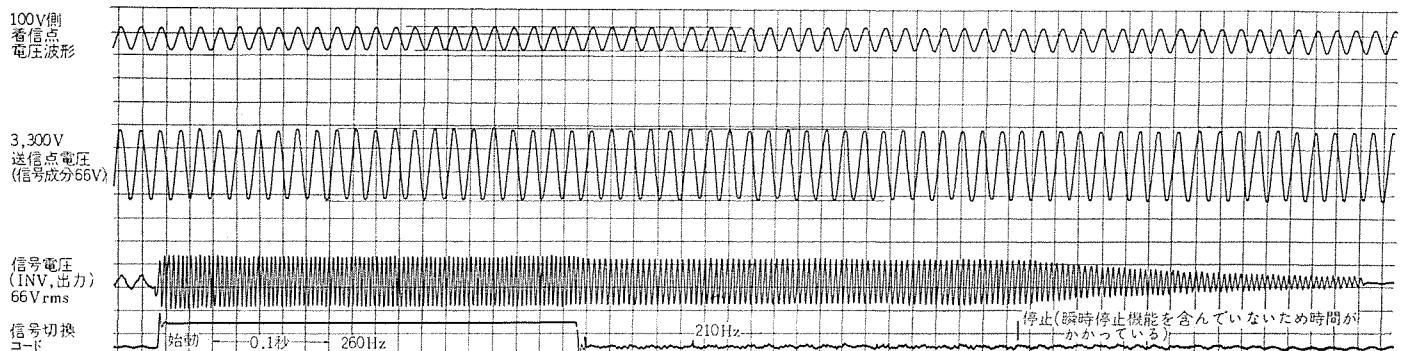


図 3.7 単相並列注入式による信号送信例(模擬送電線による実験データ)  
Example of control signal injected by DICE-FS emitter.

表 3.2 DICE-FS 信号方式  
Type of signal in DICE-FS.

信号の区別	変調方式	信号形態	受信方式		制御方法	制御項目数	受信器の種別
			検波方式	信号検出の方法			
信号A	2 値FS	${}^5C_2 + ST, SP$	FS 検波	調歩同期、コード判別	ON/OFF 制御	10	Type A
信号B	2 値FS	$f_1 f_2 / f_2 f_1$	FS 検波	到達順序判別	ON/OFF 制御	2	Type B
信号C	—	單一周波時限 ( $f_1$ or $f_2$ )	AM 検波	振幅弁別	ON または OFF	1	Type C

B, C いずれかの受信器で弁別され、負荷が選択制御される。

制御信号として FS 波を用いるおもな理由は、次のとおりである。

- (1) FS 波は AM 波より雑音に妨害されにくい。
- (2) このため信号送出時間が AM 波に比べて短くてよい。
- (3) 一般に、サイリスタインバータ(信号発生装置)は、転流の始動停止を短時間に繰り返しがたいが、転流周波数の連続切り換えは容易である。

信号 A, B, C の構成を図 3.4 に示す。信号 Aにおいて ST ビットに先行する 1 ビットは調歩同期のためのキャリア検出用であり、IDLE 時間は、制御情報を保持するリレーの駆動に要する時間である。

図 3.5 に各受信器のブロック図を、図 3.6 に Type A および B 受信器の試作品の外観を示す。

FS 信号の周波数としては、次の各項を考慮する必要がある。

- (1) 系統周波数およびその高調波雑音の影響をうけにくいこと
- (2) 伝送回路上、高い周波数では減衰が大となること
- (3) 伝送回路(配電線網)を集中定数回路として扱いうるような周波数であること
- (4) 電力の質的低下を生じないこと
- (5) 2 周波の場合、信号発生装置側からは、2 周波の間隔が近いほうがよいが、近すぎると受信器側での弁別が困難になる。

DICE-FS では、諸外国でも、AM 方式で実績のある  $3.5 f_0$  (60 Hz で 210 Hz) を第 1 周波数とし、 $3.5 f_0 + 50$  Hz (260 Hz) を第 2 周波数に選定している。

図 3.7 に、模擬送電線設備 (3.3 kV 200 kVA) を用いて実験したときの B 形制御信号のオシロ例を示す。

#### 4. 自動検針システム

遠隔自動検針システムはその適用場所から、電力会社・ガス会社・水道局といった公共事業体が広く全需要家を対象とする本格的な自動検針と、ビル内あるいは団地内の需要家内で行なう集中自動検針とに分けられる。

これらの自動検針方式を考えるうえで問題となるのは、次の三点であろう。

- (1) メータから電気信号をとり出す方法
- (2) どこにどういう機能をもった装置を配置するか
- (3) 伝送路として何を使うか

このうち、(1)については、端末機器単体の問題として検討することが可能であり、すでに、実用化に耐えうる発信装置付の電力量計、ガスマータ、水道メータが開発されているが、(2)は(3)の問題(専用線・電話線・配電線・無線)と合わせて、個々のメータから中央までのシステム構成をどうするかという点で、これから重要な課題の一つである。

特に、本格的な自動検針システムでは、大きな面的広がりをもつて多数の需要家のメータの指示値をいかにして効率よく経済的に伝送するかという問題を中心として、各方面で検討が重ねられているが、まだ決定的な方式が案出されていない現状である。これに対し、ビル・団地などのように限られた地域内では、専用伝送路を設けることが可能であり、当社の MICAM システムはすでに、各地で採用されつつある。

また、本格的な自動検針システムへの橋渡しとして、専用線による

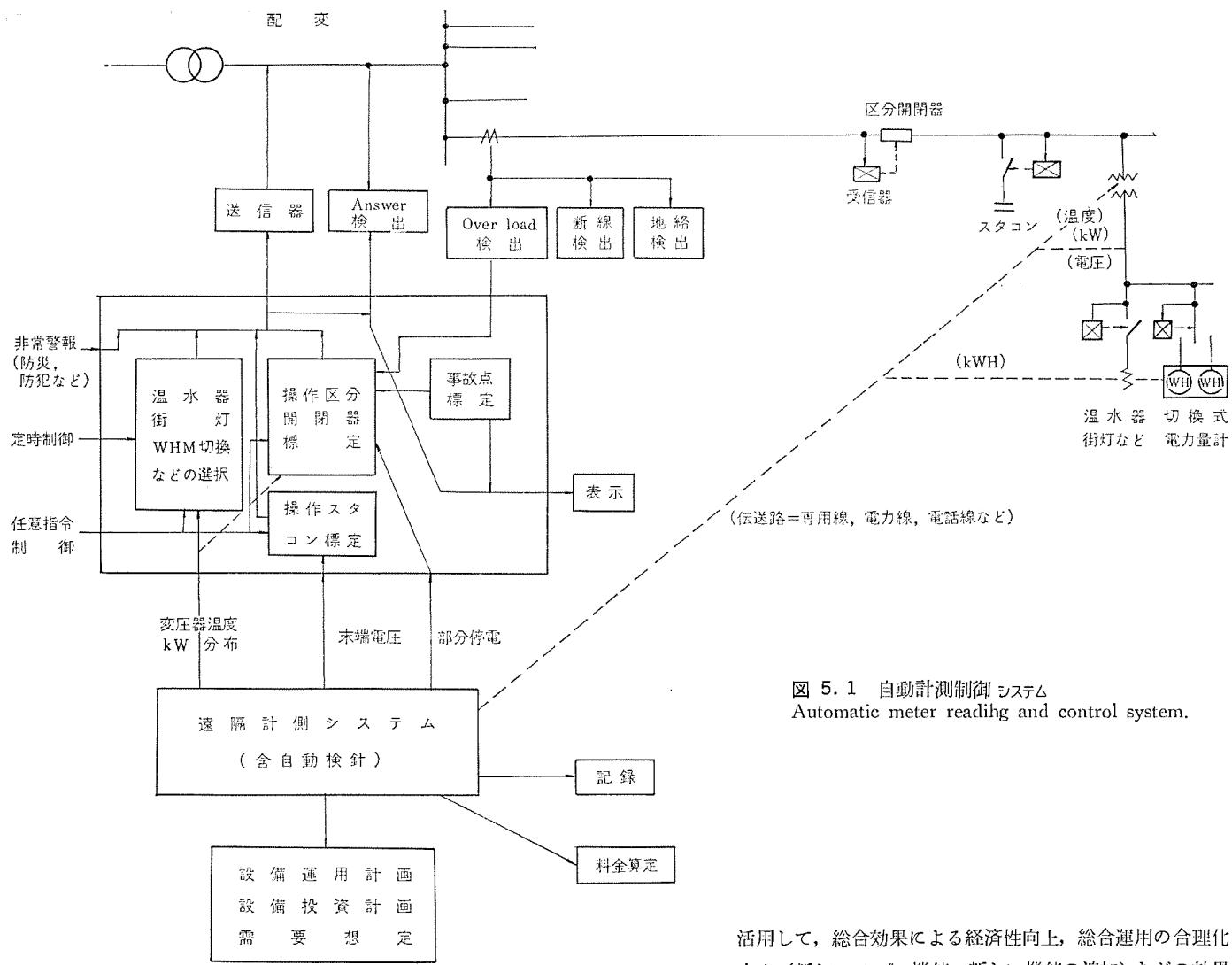


図 5.1 自動計測制御システム  
Automatic meter reading and control system.

3周波2値FS方式による自動検針装置も試作されたが、これは本誌43巻12号に詳述されているので、本文では省略する。

## 5. 自動検針システムの多目的利用と配電線制御の関連

### 5.1 自動検針システムの多目的利用の必要性

検針業務の機械化（自動化）は、需要家数の増大、2重料金制導入によるメータの増大、労働力窮屈と単純肉体労働敬遠の風潮による検針人力の不足、総合事務機械化による省力化などを背景としてその必要性が認められており、専用通信線、配電線あるいは電話線をデータ伝送路とする各種の自動検針システムが検討されている。そして、それらの中には、当社のMICAMシステムのように、ビル・工場などにおける構内集中検針として実用化されているものもあり、費用さえかければ、かなり大規模に実現可能なところにまでいっていると考えられる。

しかし、一般に自動検針システムは、設備投資がきわめて大、従来方式による検針コストと比べて人件費の上昇を考慮しても、Payするのに長期間かかる、検針のみでは設備の利用率が小さいなどにより、現時点において採算のとれる方式は見つかっていない状態である。

経済的な自動検針システムの開発においては、きわめて大量にのぼる端末装置のコストダウンも、もちろん大きな要因であるが、効果的な伝送路の選択とともに、自動検針システムの設備や機能を多目的に

活用して、総合効果による経済性向上、総合運用の合理化向上（新しいサービス機能、新しい機能の追加）などの効果を生み出す必要があると考えられる。

### 5.2 自動計測制御システム

自動検針システムの多目的利用の第一に、配電線における負荷や電圧の遠隔計測による運用計画、長期設備計画への反映があげられるが、さらに、前述の配電線制御技術との関連づけを背景とすれば、両者の機能が有機的に結合され、前項の効果が期待される。

このような、多項目の計測・制御が機能的にどのような関連になるかを図5.1に示す。

このように、自動検針システムは、自動計測制御システムの一機能と考えることによって、総合的に多目的活用が可能となり、多目的配電線制御システムと併行しての研究が重要と考えられる。

## 6. むすび

以上、配電における自動化の問題として、配電線遠方制御および自動検針方式に関する概要を述べ、今後の課題として、この両者のシステムの有機的結合の必要性と効果について検討した。

試作中のDICE-FS配電線制御については、別稿にて詳細な報告を計画しているが、これらのシステムは、今後とも、さまざまな観点から研究開発されていかねばならず、その課題の中心点は、経済的なシステムを構成するためのデータ伝送の方法にあると考えられる。

最後に、本文を草するに当たり、資料の提供をいただいた福山製作所、中央研究所の各位に謝意を表する。

# 最近のレギュラ ネットワーク配電とその機器

梅本 隆司\*・西迫 静隆\*\*・魚住 幸男\*\*

## Recent Regular Network Distribution and the Equipment

Kobe Works Takashi UMEMOTO  
Nagoya Works Shizutaka NISHIZAKO・Yukio UOZUMI

The fact, that the low voltage network system is fit for the power supply to flourishing quarters and business centers of cities, makes this system increasingly adaptable to a good many places in Japan. Mitsubishi has the largest record of manufacturing the low voltage networks in this country and has been making public the technical result of the application of them one after another. From 1969 to the present the Company has supplied the equipment to the Tokyo Electric Power Company's business territories along the Shinjuku state road and to the Kansai Electric Power Company's Kobe Motomachi Section, thus making contribution of elevating the reliability of power supply in the centers of cities.

This article describes not only recent network equipment but also the main point of regular network technique.

### 1. まえがき

狭い地域に重要な負荷が密集している都市部の繁華街、ビジネスセンタなどへの電力供給方式としては、低圧ネットワーク方式が最も適していることが認識され、わが国においてもしだいに実施例が増加している。

当社は、わが国における低圧ネットワーク方式の実施例の大部分に関与する国内最大の製作実績を有しているだけでなく、低圧ネットワーク方式の計画、実施に不可欠な技術的裏付けを与える論文を継続して発表してきた<sup>(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)</sup>。

昨年から本年にかけて、当社は東京電力・新宿国道地区、および関西電力・神戸元町地区にネットワーク機器を納入し、都心部における高信頼度の電力供給にさらに貢献している。

本文は、これら最新のネットワーク機器の解説にとどまらず、最近のレギュラネットワークの技術上の主要点にも触れ、ネットワークの計画の参考となることを願って作成したものである。

### 2. 低圧レギュラ ネットワーク方式

#### 2.1 低圧レギュラ ネットワーク方式とは

低圧レギュラネットワーク方式配電（以下では、特に支障のない限り、レギュラネットワーク方式あるいは単にネットワーク方式と略称する）は、図2.1の基本パターンで表わされるもので、変圧器を数m～数十mの間隔で分散配置し、二次側を低圧ケーブル（架空線も含む）で並列接続し、そこから各負荷に供給する方式で、比較的広い範囲にわたって高密度の負荷が存在する市街地などの配電に主として適用されるものである。変圧器の並列運転から得られる高信頼度、変圧器利用率の向上、低電圧変動および、負荷増加やネットワーク規模の拡張に対する融通性などから、アメリカでは世界最初のネットワークが1922年に実施されて以来、現在では200を越す都市で見られると報告されている<sup>(8)</sup>。

わが国では、関西電力が戦前ウェスチングハウス社から地下用の機器を購入し、大阪御堂筋に地中ネットワークを実施したのに始まり、戦後各電力会社で順次計画され、現在では東京・名古屋・京都・大阪・神戸・福岡の各都市で実施されており、当社のネットワーク機器は

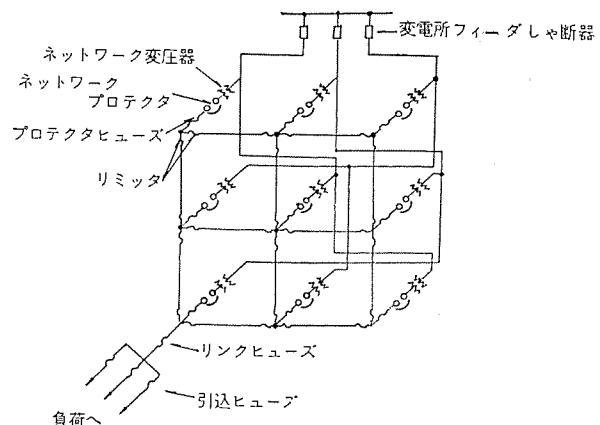


図 2.1 レギュラ ネットワーク の構成  
Regular network systems.

これらすべての都市で使用され、高信頼度供給に貢献している。  
(詳細は2.4節を参照)

ネットワーク方式の基本的なねらい、あるいは特長は種々の表現が可能であるが、要約すればつぎのようないえる。

(1) 樹枝状配電方式では、事故あるいは工事によるフィーダ（高圧）停止はただちに需要家の停電となり信頼度は低い。そこでネットワーク方式ではフィーダを複数回線とし、1回線が停止しても何ら支障のないようにしている。この考えは2回線以上の同時停止の確率はきわめて小さいことを有効に利用しており、1回線停止では各機器のはなはだしい過負荷なしに電力供給を継続できるよう系統設計することを前提としている。

(2) フィーダが複数回線になることは、需要家から見れば電源変電所に至る経路が二重化、三重化されることであり、当然停電回数が激減する。換言すれば樹枝状配電では需要家から離れた電源変電所が無停電電源と考えられたに過ぎないので対し、ネットワーク方式では、需要家に近接したネットワーク変圧器二次が、無停電電源となり供給信頼度の向上につながると考えることができる。

(3) 一方、電力供給側から見れば、樹枝状のフィーダでは修理・保修による停電を考慮すると、これらの作業は深夜とか日曜日に短時間に急いで行なう必要があるのに対し、ネットワーク方式では、フィ

ーダを1回線ごとに隨時に止めて作業を行なうことが可能であり、保守・運用上の融通性が大きい。

(4) ネットワークの保護のうち変圧器一次側の故障に対しては、ネットワークプロテクタが動作し、二次側の故障に対しては、プロテクタヒューズ、引き込みヒューズ、リンクヒューズあるいはリミタが溶断し、事故部分をネットワーク系統から切り離すのである。一次側の故障では停電する需要家はないが、二次側の故障では、上記ヒューズの溶断により切り離された需要家は停電する。

## 2.2 ネットワークプロテクタの機能

ネットワークにおいては、2.1節に記したようにネットワークプロテクタ、リミタ、リンクヒューズおよび、引き込みヒューズが用いられ事故除去を行なうのであるが、なかでもネットワークプロテクタは他の配電方式には見られないものである。

ネットワークプロテクタはネットワーク変圧器と二次側グリッドとの間に設置されるもので、しゃ断器・ネットワーク继電器・CT・ヒューズなどにより構成され、ネットワーク继電器の動作により、以下のような機能をはたす。

### 2.2.1 逆電流しゃ断

一次フィーダで事故が発生した場合、変電所のフィーダしゃ断器トリップ後、故障電流（短絡事故の場合）または変圧器励磁電流と一次フィーダ充電電流の和（地絡事故の場合）が、事故回線のネットワークプロテクタを逆流することを検出してトリップする機能である。

### 2.2.2 過電圧投入

一次フィーダが故障で、いったんネットワークプロテクタが開路したのち、その故障が除去され再送電された場合のように、ネットワーク側にはすでに電圧が存在しているとき、ネットワークプロテクタの両極間の電圧が所定の条件を満足すると、ネットワークプロテクタが自動的に閉路する機能である。

### 2.2.3 無電圧投入

ネットワーク側が無電圧、すなわち運転開始時、あるいは全停復旧時のように、ネットワークに給電する全フィーダが停電の場合、いずれか

のフィーダが充電されると、そのフィーダのネットワークプロテクタが自動的に閉路する機能である。

以上の自動開閉機能のほかに、操作員の判断によりハンドルで開閉できる機能を有することは、他の開閉器と同様である。したがってハンドルは、開路・自動・閉路の3位置が選択できるようになっている。

以上のネットワークプロテクタの動作を要約すると表2.1のようになる。

表2.1 ネットワークプロテクタの機能  
Function of network protector.

プロテクタの機能	判断要素
1. 逆電流しゃ断	$e_2$ $i$ $\theta = e_2 i$
2. 無電圧投入……（ネットワーク側無電圧、フィーダ側充電時の投入動作）	$e_1$ $e_2$
3. 過電圧投入……（ネットワーク充電状態での再投入動作—再投入とポンピング防止）	$e_1$ $e_2$ $\phi = \Delta e \cdot e_2$ $\Delta e = e_1 - e_2$ $i$ time
4. ヒューズによる設備保護	—
5. 手動操作……開、閉、自動	—

逆電流しゃ断特性と過電圧投入特性のデータ例を図2.2に示す。これらはいずれも極座標で表わされており、ネットワーク側の相電圧を基準とし、動径には電流値（逆電流しゃ断の場合）、または電圧値（過電圧投入の場合）を目盛っている。図2.2(a)はネットワークプロテクタを通過する電流が逆向きとなり、ネットワーク继電器の逆電流しゃ断領域にはいるとトリップ接点が閉路することを表わし、同図(b)は、開放状態のネットワークプロテクタの変圧器側および、ネットワーク側に電圧 $e_1, e_2$ がある場合、これらの差 $\Delta e = e_1 - e_2$ のベクトルが

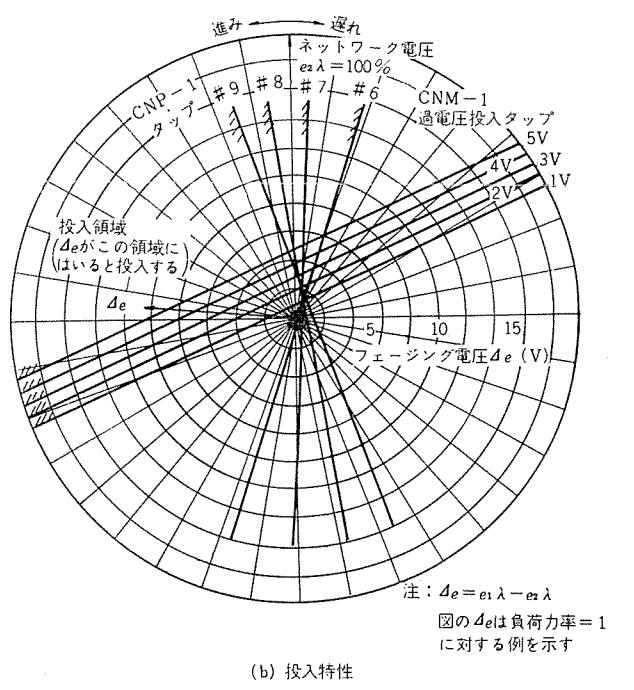
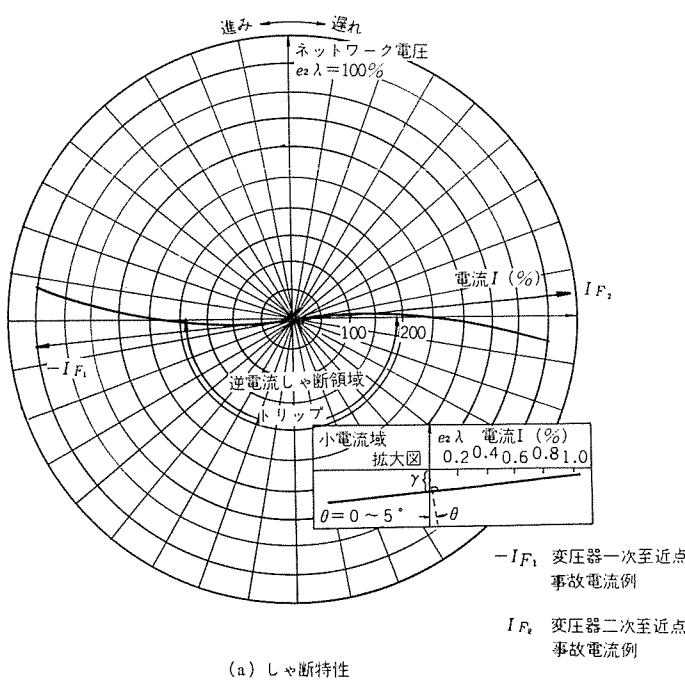
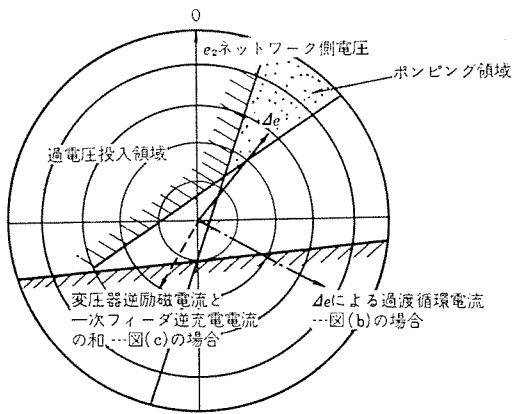
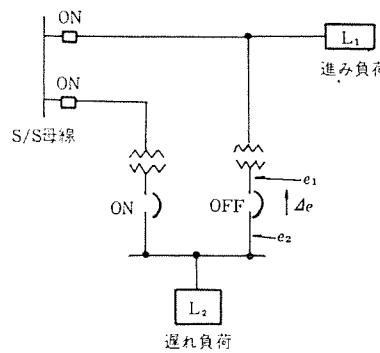


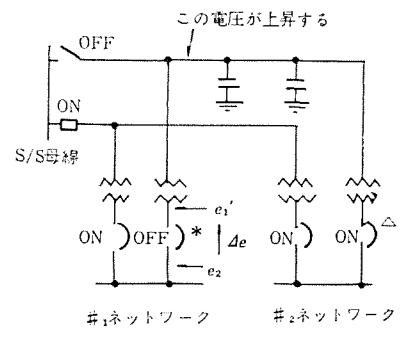
図2.2 ネットワークプロテクタの特性例  
Typical characteristics of network protector.



(a) ネットワーククリレー特性



(b) 系統上の特殊ケース



(c) ネットワークプロテクタがある場合

図 2.3 ポンピング現象の説明

Explanation of pumping phenomenon of network protector.

ネットワーク 離電器の投入領域にはいると、投入接点が閉路することを表わしている。

なお図 2.2 (a) に示す逆電流しゃ断特性が、大電流領域においてわん曲しているのは、変圧器の至近点事故の場合、遅れ  $90^\circ$  に近い位相角の大電流がネットワークプロテクタを通過することを考慮し、この電流が逆向きの場合 (変圧器一次側事故) は確実にこれをとらえてトリップトルクを発生し、正方向の場合 (変圧器二次側事故) は確実に抑制トルクを発生させることを意図しているものである。また、同図 (b) に示す過電圧投入特性を示す直線の傾斜は、負荷力率が 1 の場合に  $\Delta e = e_1 - e_2$  が図に記載した向きになると言っても大過ない (変圧器の漏えい (洩) インピーダンスの力率角により多少変わる)、ならびに負荷力率はほぼ 1.0 で、やや遅れ気味の場合が一般的であることを考えると、負荷力率が 1.0 よりやや遅れ付近で過電圧投入感度が良くなるように、この図に示す程度の傾斜とするのが妥当である。

図 2.2 (b)において過電圧投入特性が折線となっているのは、折線とすることによって削除された領域 (ポンピング領域) に  $\Delta e$  がいれば、過電圧投入しても直ちに逆電流しゃ断し、過電圧投入二逆電流しゃ断の反復動作をくり返す、いわゆるポンピングを発生するおそれがあるので、これを避けるためである。

$\Delta e$  がポンピング領域にはいる原因はつぎの 2 点が考えられ、それぞれの場合にネットワークプロテクタは異なる応動をする。

(1) 過電圧投入すべきネットワークプロテクタの接続された一次フィーダのみに一般負荷が接続され、その負荷力率がきわめて進み、ネットワーク負荷の力率がきわめて遅れとなつた場合である。このときは、過電圧投入すると  $\Delta e$  に起因する過渡的な循環電流が逆電流しゃ断領域にはいるように流れ、そのネットワークプロテクタがしゃ断するため、ポンピングに至る。(図 2.3 (b)を参照)

(2) 変電所フィーダしゃ断器が開路し、その回線に接続されたネットワークプロテクタがすべて逆電流しゃ断すべきときに、不動作のものがあり、一次フィーダが逆充電されたままとなり、その電圧が健全一次フィーダより高くなつた場合である。このときは、正常にしゃ断しているネットワークプロテクタが誤って過電圧投入するが (投入しても電力を供給できない)、再び逆電流しゃ断しポンピングに至る。このような現象は一次フィーダがケーブルの場合、あるいは進み力率の一般

負荷がそこに接続されている場合に発生するものである。(図 2.3 (c)を参照)

これらの二つの原因のうち、(1)は系統上の問題であり、一次フィーダをネットワーク専用にする、あるいは一般負荷を接続する場合は極度の進み力率とならないよう負荷管理を行なう、などの対策処置を考えられる。(2)は、本質的に系統上の問題ではなく、ネットワークプロテクタの逆電流しゃ断動作の信頼度の問題に帰因するので、実績・信頼度の点を満足するネットワークプロテクタを適用する必要がある。また、図 2.2 (b)の投入特性のうち、CNP-1 のタップ #8、または #9 を使うことも考えられる。

### 2.3 電圧方式

#### 2.3.1 各種の電圧方式とその選定

ネットワークの計画にあたっては、低圧側電圧方式の選定が大きな課題である。わが国の低圧標準電圧が 105・210 V であることを考慮すると、表 2.2 に示す 7 種類が考えられる。

表 2.2 ネットワーク電圧方式比較表  
Comparison table of network voltage systems.

結線方式	電圧	特長
(I) 	(1-1) 415V/240V	①配電電圧の昇圧を行なうことができる ②100V 負荷への供給にはオートトランスを必要とする 注) 400V 配電電圧はまだ確立されていないので一例として415V/240Vの場合を示した
	(1-2) 210V/121V	①100V 負荷への供給にはオートトランスを必要とする
	(1-3) 173V/100V	①200V 負荷への供給にはオートトランスを必要とする
(II) 	210V	①100V 負荷への供給にはオートトランスを必要とする
(III) 	210V/105V	①100V, 200V 負荷に直接供給できるのでオートトランスが不要である ②変圧器利用率が小さい (△, ▲の86.6%) ③単相変圧器のとき、2台ですむ
(IV) 	210V/105V	①100V, 200V 負荷に直接供給できるのでオートトランスが不要である ②変圧器利用率が大きい ③単相変圧器のとき、3台必要である

これらの電圧方式の採用のための比較基準はつぎのとおりである。

- (1) 需要家電圧との適合性、オートトランスの要否
- (2) 将来の配電電圧への発展性
- (3) 変圧器利用率の大小
- (4) 標準変圧器の適用の可否

わが国でネットワークを実施する場合の第一の問題点は、V接続で代表される単相三相共用方式(表2.2のIII, IV)を用いてオートトランスをなくするか、欧米で実績のある人または△方式(表2.2のI, II)で、オートトランスを用いることは止むを得ないとするか、ということである。このほかに、将来の、いわゆる400V配電に備えて、三相4線式△105・210V、人240/415Vのいずれにも切り換える可能なネットワークユニットを使用し、当初は△方式で運用する考え方もあり、最近試験的に行なわれている。(3章を参照)

### 2.3.2 単相三相共用方式特有の問題とネットワーク継電方式

三相4線式Vあるいは△方式は、観点を変えると、三相3線回路と単相3線回路を重ね合わせたものであるといえる。これをネットワークに組んだ場合には、三相4線式あるいは三相3線式△の場合には発生しない下記の現象が見られる。

(1) 変圧器を逆励磁したとき、an間およびnb間の単相負荷が不平衡であると、中性相に電流が流れる。

この電流は、単相不平衡によって生じたan間とnb間の電圧差をなくすために、単3回路の変圧器がバランサとして作用して流れるもので、平衡化電流と呼び図2.4の回路の場合、次式で与えられる。

$$I_n = \frac{E_{AN} - E_{NB}}{z_{tb}} = \frac{z_{b1} + 2z_{n1}}{z_{tb}} - \frac{z_{a1} + 2z_{n1}}{z_{ta}} E \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

ただし

$$K = \left( z_{n1} + \frac{z_{a1}}{2} \right) \left( -\frac{z_{n1}}{z_{ta}} + 1 + \frac{z_{b1} + z_{n1}}{z_{tb}} \right) + \left( z_{n1} + \frac{z_{b1}}{2} \right) \left( -\frac{z_{n1}}{z_{tb}} + 1 + \frac{z_{a1} + z_{n1}}{z_{ta}} \right) + \left( \frac{z_{a2} + z_{b2}}{2} + 2z_{n2} \right) \left\{ \left( 1 + \frac{z_{a1} + z_{n1}}{z_{ta}} \right) \left( 1 + \frac{z_{b1} + z_{n1}}{z_{tb}} \right) + \frac{z_{n1} z_{n1}}{z_{ta} z_{tb}} \right\} \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

(2) 式(2.1)、(2.2)から、単相負荷の大きさ・力率が変化すれば平衡化電流の大きさ・力率も変化することがわかる。平衡化電流は変圧器逆励磁電流に重畳して流れるため、負荷および線路定数によっては後者が前者にマスクされてしまうことが推定されるが、このことは計算<sup>(6)</sup>および実測によって確認された。

(3) 単相負荷の力率が1.0であっても、その線路電流と相電圧との関係は、a相では30°進み、b相では30°遅れている。

これらの点を考慮せずに他の方式と同じネットワーク継電方式を適用すると、平衡化電流のために逆励磁電流しゃ断しない、単相負荷力率の許容範囲が狭い、などの問題が発生する。

しかし、当社では上記のような現象の影響を受けないネットワーク継電方式を開発し(特許出願中)、三相4線式Vおよび△方式の場合も他の方式と全く同じ扱いとなるようにした<sup>(7)</sup>。

この継電方式はN相に流れる平衡化電流の影響を受けないようにしているので、N相補償式と呼ぶ。N相補償式ネットワーク継電方式の一例を図2.5に示す。

図2.5から、ネットワークプロテクタを通過する電力を求めると

$$P = E_A I_A + E_B I_B + E_C I_C + E_N I_N \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

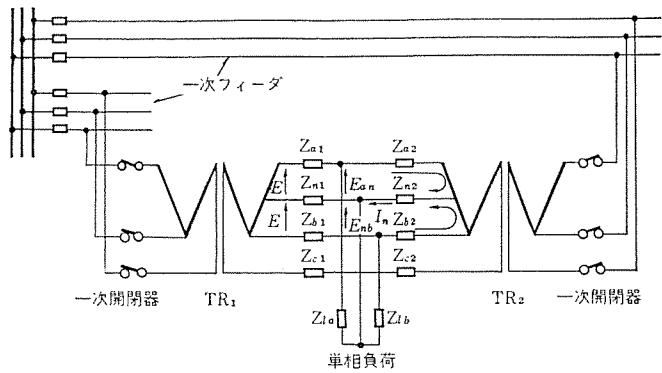


図2.4 三相4線式V接続ネットワークのモデル  
Model of three phase four wire V-connected network system.

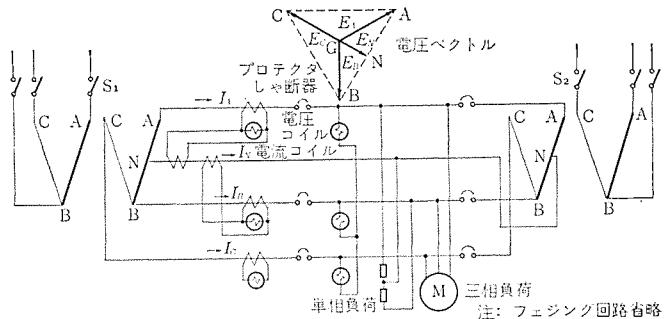


図2.5 N相補償式ネットワーク継電方式例  
Example of network relaying compensated for N-phase current.

NがABの中点であることに着目し、E<sub>N</sub>をE<sub>A</sub>, E<sub>B</sub>に分解すると

$$P = E_A \left( I_A + \frac{1}{2} I_N \right) + E_B \left( I_B + \frac{1}{2} I_N \right) + E_C I_C \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

一方、当社のCNM-1形ネットワーク主制御継電器は、電圧コイルに印加された電圧と、電流コイルを流通する電流とのベクトル積に比例したトルクを発生する。これをTとすると図2.5から

$$T = K \left\{ E_A \left( I_A + \frac{1}{2} I_N \right) + E_B \left( I_B + \frac{1}{2} I_N \right) + E_C I_C \right\} \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

式(2.4), (2.5)より

$$T = K \cdot P \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

の関係がなり立つことがわかる。この式から明らかなように、N相補償式ネットワーク継電器は、ネットワークプロテクタを通過する電力の向きを監視しているわけであるから、逆電流しゃ断特性は、他の電圧方式の場合と同じく、図2.2(a)で与えられる。したがって、変電所のフィーダーしゃ断器が開放し、変圧器が逆励磁されると、ネットワークプロテクタ通過電力が正常時と逆向きとなり、この図の逆電流しゃ断領域に到達するので、平衡化電流がどのように流れようとも確実にトリップする。逆に、常規の運転状態で負荷に電力を供給している場合には、先に述べたan間あるいはnb間の単相負荷が、どのように進み力率や遅れ力率になったとしても、ネットワークプロテクタの通過電力は正の向きであるから、上記逆電流しゃ断領域には到達せずにしたがってネットワークプロテクタが誤ってトリップすることもない。

N相補償を有するネットワーク継電方式と、そうでない継電方式の動作特性を比較検討すると、表2.3のようになり、先に述べたようにN相補償を実施すれば、三相4線式Vあるいは△方式でも他の電圧方式と全く同じ扱いが可能であり、何ら制約条件が残らないことがわかる。

表 2.3 N 相補償の有無によるネットワーク继電器の特性の比較  
Effect of N-phase current compensation for network relaying.

項目	N 相補償を有するリレー	N 相補償のないリレー
高圧事故に対し	動作	動作
低圧事故に対し	不動作	一部動作
許容負荷力率	(1φ) 90°～-80° (3φ) 90°～-80°	(1φ) 70°～-50° (3φ) 90°～-80°
平衡化電流 <sup>(1)</sup> の影響	なし	あり

表 2.4 三菱柱上式ネットワークプロテクタの標準定格例  
Standard ratings of Mitsubishi overhead network protector.

定格電圧 kV	ネットワーカトランス		ネットワークプロテクタ							定格電圧 V
	定格容量 kVA	定格電流 A	定格電流 A	手過定負荷		気中しゃ断器			定格電圧 V	定格電流 A
				(2または8時間)	形 式 (呼称)	目標定格電流	定格電圧	定格しゃ断電流		
6.0.2 0.1	3φ 300									
6.0.2 0.1	3× 1φ 100	1,360	1,000	1,500	DBP-10	1,500		250	25	
6.0.2 0.1	3× 1φ 133	1,650	1,100	1,650	DSN- 2000	1,650				

表 2.5 三菱柱上式ネットワークプロテクタ納入実績表  
List of Mitsubishi overhead network protectors supplied.

製作 年度	プロテ クタ形 式記号	構 造	変圧器 定格容量 kVA	使用系統	プロテクタ定格		備考	
					電圧 V	連 続 A	しゃ断 電 流 kA	CB 形式
昭和 34年 1959	CM (44)	柱上式	3×30 or 3×50	6.6kV/173V (173V/100V)	800 210 (1,200A 2時間)	AC 220V 1,000A	NF- 800 改造 (手前)	関西電力 25
昭和 39年 1964	CM (44S)	柱上式	3×50 or 3×75	6.6kV/210V (210V/121V)	800 210 (1,000A 2時間)	AC 220V 10,000A	NF- 1000 改造 (手通り)	九州電力 11
昭和 40年 1965	CM (45)	柱上式	3×100 (2×100 +1×100)	6.6kV/210V (210V/105V)	1,000 210 (1,500A 2時間)	AC 500V 25,000A 操作電圧 30-260V	DBP- 10 60	関西電力 29 (河原町)
昭和 41年 1966	CM (45)	柱上式	3×100	6.6kV/173V (173V/100V)	1,000 210 (1,500A 2時間)	AC 220V 25,000A	DBP- 10 60	関西電力 11 (手前)
昭和 42年 1967	CM (44)	柱上式	100+30	6.6kV/210V (210V/105V)	500 210 (750A 2時間)	AC 220V 10,000A	NF- 1000 改造 (大須)	中部電力 2
昭和 43年 1968	CM (50)	柱上式	3×133	6.6kV/210V (210V/121V)	1,100A 210 (1,650A 2時間)	AC 500V 25,000A	DSM- 2000 60	九州電力 2 (寺通り)
昭和 44年 1969	CM (45B)	柱上式	3×100 (2×100 +1×100)	6.6kV/210V (210V/105V)	1,000 210 (1,500A 2時間)	AC 500V 25,000A	DBP- 10 60	関西電力 9 (鰐川筋)

## 2.4 ネットワークの形式と三菱電機のネットワークユニット

ネットワークは、使用されるネットワークユニット、一次および二次フィーダの設置場所により、柱上式および地中式に大別される。

### 2.4.1 柱上式ネットワーク

柱上式ネットワークでは、装柱重量の制限、都市美観の維持の点から、できる限り装柱機器の種類を少なくし、かつ、小形、軽量化することが必要である。このため、二次グリッドを絶縁電線にして信頼度を高めるとともに、図2.1に示すリミタを二次グリッドの両端ではなく中央に設置したり、プロテクタヒューズ、リンクヒューズを省略したりするなどの対策が講じられることがある<sup>(2)</sup>。三菱柱上形ネットワークユニットの標準定格例を表2.4に示し、納入実績を表2.5に示す。

最近のレギュラネットワーク配電とその機器・梅本・西迫・魚住

表 2.6 三菱地中式ネットワークプロテクタの標準定格例  
Standard ratings of Mitsubishi underground network protectors.

定格電圧 kV	ネットワーカトランス			ネットワークプロテクタ				
	定格容量 kVA	定格電流 A	定格電流の150% A	定格電流 A	しゃ断器		しゃ断器	
					形式 (呼称)	目標定格電流 A	設計定格電流 A	定格しゃ断電圧 V
20/0.4	3φ 2400	5,000	5,000	DB-150P	5,000	500	500	85
	3φ 1900	3,970	4,000	DB-100P	4,000	500	500	85
	3φ 1400	2,920	3,000	DB-75P	3,000	500	500	65
	3φ 1000	2,080	2,100	DB-75P	3,000	500	500	65
	3φ 750	1,570	1,600	DB-50P	1,600	500	500	50
	3φ 500	1,040	1,100	DB-50P	1,600	500	500	50
6/0.4	3φ 1000	2,080	2,100	DB-75P	2,000	500	500	65
	3φ 750	1,570	1,600	DB-50P	1,600	500	500	50
	3φ 500	1,040	1,100	DB-10P	1,000	500	500	25
	3φ 300	625	1,000	DB-10P	1,000	500	500	25
20/0.2	450+300	3,075	3,100	DB-100	4,000	500	500	85
	300+200	2,050	2,100	DB-75P	3,000	500	500	65
20/0.2	3φ 650	2,700	2,700	DB-75P	3,000	500	500	65
	200+100	1,360	1,400	DB-50P	1,600	250	30	30

表 2.7 三菱地中式ネットワークプロテクタ納入実積表  
List of Mitsubishi underground network protectors supplied.

製作 年度	プロテ クタ形 式番号	構 造	変圧器 定格容量 kVA	使用系統	プロテクタ定格		備考	
					電圧 V	連 続 A	しゃ断 電 流 kA	CB 形式
昭和 41年 1966	CM (33S)	地中式	3.3kV/210V (210V/105V)	250	1,600	AC250V 8時間	69	DB- 50P (銀座)
昭和 44年 1969	CM "	"	200+100 (3φ)	500	2,500	AC415V 45,000A	103.5	DB-75P (新宿)
昭和 44年 1969	CM "	"	750 (3φ)	500	2,500	AC415V (415/240V) (210/105V)	103.5	DB-75P (新宿)
昭和 44年 1969	NM "	"	656 (3φ)	250	2,500	AC250V 45,000A	103.5	DB-75P (マニラ)

### 2.4.2 地中式ネットワーク

地中式ネットワークは都市美観の維持の点ではきわめて好ましいものである。ネットワークユニットに対する重量上の制約条件は柱上式ほどではない。この点から、プロテクタヒューズをネットワークプロテクタ内に収納し、リミタをネットワークプロテクタの端子に接続することが一般に行なわれる。ただし、構造上の要求としては耐浸水式の確保ということがあり、冷却など技術的な問題が若干ある。三菱地中式ネットワークユニットの標準定格例を表2.6に示し、納入実績を表2.7に示す。

## 3. 東京電力納め新宿国道地区用地地中式ネットワーク機器

### 3.1 概 説

東京では、新宿地区の副都心化計画が数年前から実行に移され、

駅西口付近に超高層ビルが建て始められて、漸次その機能を整えつつあり、電力供給の点でも、スポットネットワーク方式を主体として、高信頼度化が当初から計画されている。

一方、副都心地域の周辺には、商店街・歓楽街などが広い範囲にわたって存在しており、これに対する電力供給の高信頼度化、さらに都市美化の促進を主目的として、地中式低圧ネットワーク方式が推進されている。すでに、通称ガス地区でネットワークが実施されていたが、昨年初め、国道地区と称される駅南口付近の繁華街に対するネットワーク配電が新たに実施され、一步前進した。当社のネットワークユニットが、このネットワークに使用されており、使用後ほぼ1年間、順調に動作している。(表2.7参照)

電圧方式の選定は 2.3.1 項に記したように大きな課題であり、現在の状況のは握だけでなく将来についての展望も要求される。国道地区のネットワークでは、比較的近い将来に低圧配電電圧が格上げされ、三相 4 線式  $\Delta$  240/415 V になることを想定し、その時点ではこの方式で使用できるとともに、当初は 105・210 V でも使用できることが必要条件との判断がなされた結果、三相 4 線式  $\Delta$  105・210 V、三相 4 線式  $\Delta$  240/415 V いずれにも切り換え可能なネットワークユニットが適用された。

このネットワークユニットは路面下の地下孔内に設置される。地下孔には排水ポンプが設備されており、わき水は除去するようになっているが、洪水により地下孔に浸水した場合、ネットワークユニットが水面下5mに没することを想定し、これに耐えて配電を継続できるよう、耐浸水式構造となっている。

定格電流 2,500 A はわが国で実用されている レギュラ ネットワーク ユニット の最大容量である。

ネットワーク変圧器の一次側には3点断路器が直接取り付けられており、開路・閉路・接地(一次ケーブル接地)の3位置が選択できる。

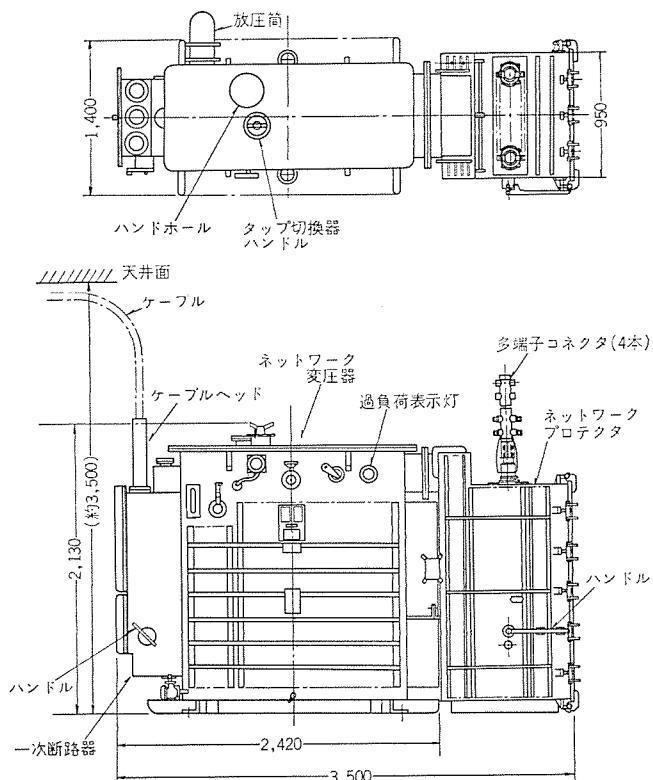


図 3.1 東電・新宿地区用ネットワークユニット  
 Network unit for Shinjuku area network of Tokyo Electric Power Company.

### 3. 2 一次断路器

レギュラネットワーク用一次断路器は、ネットワーク変圧器の一次側に設置されるもので、変圧器励磁電流の開閉のほか、ケーブル接地・ケーブル故障点の検出や、耐圧試験に用いることができる。この一次断路器にはハンドルロック装置を設け、このロックをはずさずにハンドルに力

表 3.1 一次断路器の仕様と定格  
Rating and specification of primary disconnecting switch.

形名	NTS-20 A
定格事項	
定格電圧	24 kV
定格電流	100 A
定格しゃ断電流	1 A
定格短時間通電流	24 kA 1秒 接地極においてのみ
绝缘階級	20号A
励磁電流開閉(保障)	500回
連続無電圧開閉	2,000回
インタロックマグネットの定格電圧	210 V 50 Hz
操作方式	三極双投手動操作方式
準拠規格	JEC-165

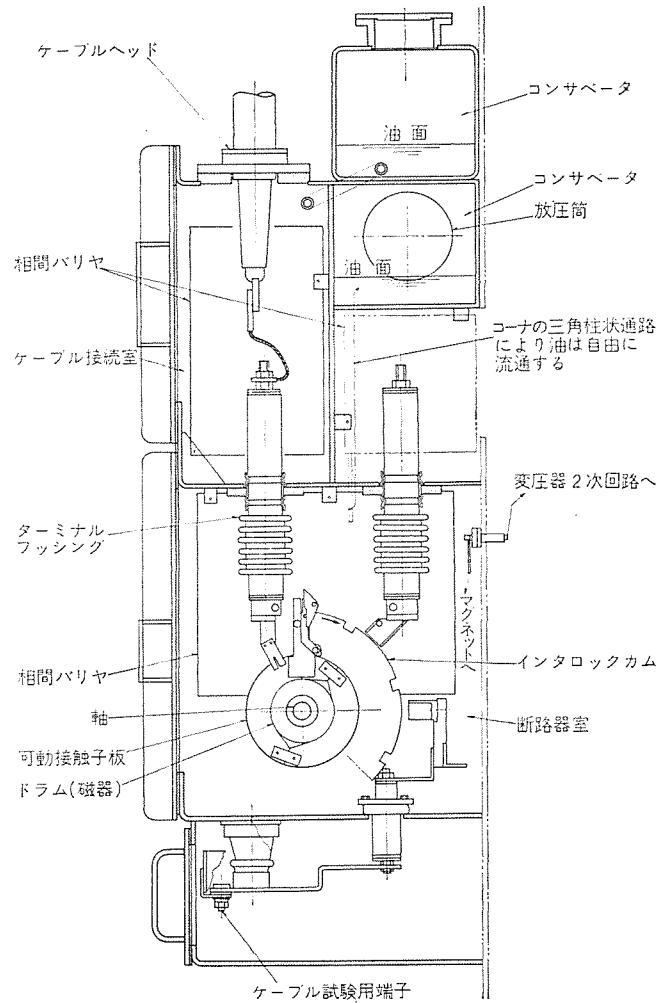


図 3.2 一次断路器の構造  
Arrangement of three-position disconnecting and grounding switch.

を加えてもハンドルが回転しないようにして、不用意な操作をなくし、安全性を確保するとともに、変圧器の励磁、プロテクタ しゃ断器の開路・閉路という2要因を組み合わせて、マグネット式 インタロック装置の動作を規定している。このマグネット式 インタロック装置が動作したときは、ハンドルは回転できなくなるようにしている。このような安全確保のための インタロック 機構を備えていることが、レギュラ ネットワークに使用する一次断路器の特長の一つといえる。

東京電力 新宿国道地区に適用された、当社の一次断路器の定格と仕様、構造、インターロック 方式について述べる。

### 3.2.1 定格と仕様

一次断路器の仕様と定格を表 3.1 に示す。

### 3.2.2 構 造

図 3.2 は一次断路器の側断面図で、ケーブル 接続室・断路器室・コンセーバーの各室からなり、内外気圧差 3 kg/cm<sup>2</sup> に耐えられる、耐浸水形構造となっている。

ケーブル 接続室は、ケーブルヘッドの導体とターミナル ブッシングの導体の接続が行なわれるところである。断路器室には、外部操作ハンドルと連動する3位置接触部がある。この接触部は“開”・“閉”・“接地”の順に動き、接地する前には必ず“閉”位置を通過するよう構成されている。さらに、この室には3位置接触部の動作を規制する インタロック 機構も組み込まれている。

断路器室下方には、ケーブル 試験用端子室があり、そこで3極一括接地を行なっている。必要に応じ、接地端子部の接地片と短絡片を取りはずすことにより、接地端子を試験用端子として用い、ケーブルの試験を行なうことができる。

このほか外部には、操作ハンドル 機構・油面計・放圧筒・注油弁・排油弁などの付属装置が取り付けられている。

### 3.2.3 インタロック方式

一次断路器のインターロック 方式は図 3.3 に示すとおりで、点線わくで囲まれた部分が一次断路器であり、このうち インタロック マグネットコイル A, B には、変圧器の二次側巻線から取り出した電圧をプロテクタ しゃ断器の補助 a 接点を介して印加する。

インターロック マグネット A には カム A を、インターロック マグネット B には カム B を組み合わせてあり、インターロック マグネット A, B の可動鉄心が吸引されると カム A, B のみぞと係合し、鎖錠する。この形式の ロック は 吸引形 ロック と呼ばれる。

吸引形 ロック に対して、落下形 ロック と呼ばれるものがあるが、その場合はインターロック マグネット の可動鉄心が落下したとき、カム のみぞと係合し鎖錠する。

国道地区 ネットワーク 用一次断路器のインターロック マグネット は、2個とも吸引形であるが、このほかに、2個とも落下形にする、あるいは、吸引形・落下形を1個ずつ組み合わせる、という考え方もある。

表 3.2 に、この一次断路器のインターロック マグネット の動作と ロック の関係を示しているが、これを具体的に説明するとつぎのようになる。

(1) 変圧器が充電されていて、プロテクタ しゃ断器が閉路しているとき、すなわち、送電中は“閉”位置から他の位置へはハンドル 操作できない。

(2) 変圧器が充電されていて、プロテクタ しゃ断器が開路しているときは、“閉”から“開”へ、あるいは“開”から“閉”にハンドル 操作できるが、“接地”には操作できない。

(3) 一次 フィーダ が充電されておらず、プロテクタ しゃ断器も開路しているときは、自由にどの位置へもハンドル 操作が可能である。

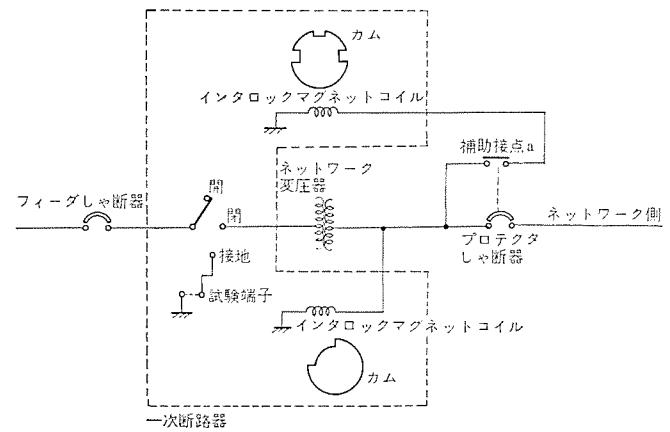


図 3.3 一次断路器のインターロック 方式  
Schematic diagram of interlock method in three-position disconnecting and grounding switch.

表 3.2 一次断路器のインターロック マグネット 動作と ロック 位置  
Interlock magnet operation and lock position of three-position disconnecting and grounding switch.

インターロック マグネット		ハンドル操作の可・否				状 態
吸引ロック	吸引ロック	開 閉	閉 開	閉 接地	接地 閉	
ON	ON	×	×	×	—	(変圧器が充電されており (プロテクタ しゃ断器が閉路しているとき) → 正常に送電)
ON	OFF	×	×	×	—	(変圧器が停止しており (プロテクタ しゃ断器が開路しているとき) → 実際には発生しないと考えられる)
OFF	ON	○	○	×	—	(変圧器が充電されており (プロテクタ しゃ断器が開路しているとき) → 閉路すれば送電できる)
OFF	OFF	○	○	○	○	(変圧器が停止しており (プロテクタ しゃ断器が開路しているとき) → 完全休止状態)

注) 1. 表中の○印はハンドル操作できることを示す

2. 表中の×印はハンドル操作できないことを示す

### 3.3 ネットワーク変圧器

#### 3.3.1 概 要

レギュラ ネットワーク 変圧器は、高信頼度の無停電供給を行なう ネットワーク 配電方式の主要機器の一つとして使用されるもので、一般に次のようないくつかの条件が要求される。

##### (1) 高 インピーダンス であること

負荷分担を均一にするため、インピーダンス は 5 %程度とし、一般の変圧器より高い値をとる。

##### (2) 励磁電流と プロテクタリレー の協調がとれること

プロテクタ の逆電流 しゃ断特性と協調をとるため、励磁電流を標準変圧器より若干大きくする。

##### (3) 過負荷耐量が大きいこと

1回線停電時には、健全回線に接続された変圧器が過負荷となるので、これに耐える過負荷耐量が必要である。

##### (4) 密封・防食構造とすること

地下孔設置のため湿度が高く、浸水状態で使用されることがあるので、防せい(錆)処理、腐食防止塗装が必要であり、また漏えいのない密封構造が要求される。

##### (5) 高信頼性・保守点検が容易であること

故障した機器を取り換えることは、地下孔の構造から非常に困難である。また地下孔への出入りが困難なことなどから、高信頼性を有し、保守点検が容易なことが必要である。

### (6) 小形軽量であること

地下孔の容積制限、搬入の困難さなどの点から小形軽量であることが要望される。

今回、新宿国道地区へ納入したネットワーク変圧器は、前記のような条件を満足しているとともに、新しく電圧切り換え式を採用して、200 V から 400 V 配電へ将来切り換えできる構造としている。以下この変圧器の主要点について説明する。

#### 3.3.2 仕様

変圧器の仕様は次のとおりである。

- (1) 形式：耐浸水地下孔用、三相4線、油入自冷式、窒素封入密封形
- (2) 定格周波数：50 Hz
- (3) 一次電圧：22 F—21.5 R—21 F—20.5 F—20 F kV
- (4) 二次電圧：△105・210 V および ▲240/415 V 切り換え可能
- (5) 定格容量：240/415 V 結線時 750 kVA  
105・210 V 結線時 656 kVA
- (6) 結線方式：  
22 kV/105・210 V   
22 kV/240/415 V 
- (7) 温度上昇：55 deg 以下
- (8) 過負荷耐量：75 % 連続負荷 に引き続き 150 % 負荷 8 時間
- (9) インピーダンス電圧：105・210 V, 240/415 V とも 750 kVA  
基準で  $5 \pm 0.5 \%$
- (10) 絶縁階級：20 号

#### 3.3.3 構造

##### (1) 一般構造

ネットワーク変圧器を中心にして、3.2節記載の一次断路器を付属しており、二次側にはネットワークプロテクタが直結できる構造となっている。一次側は断路器の固定接触子支持碍子を兼ねた壁ぬきブッシングを通して断路器と接続しており、さらに断路器側に取り付けた機器直結形ケーブルヘッドから、22 kV, 150 mm<sup>2</sup>, トリプレックス、CVケーブルを使用してフィーダと接続するようにしている。

変圧器内部の油面上空間に窒素ガスを封入した構造とし、保守点検の要を少なくしている。また変圧器の負荷状況を知ることにより、設備の増設など配電管理の一助とするため、過負荷表示装置を内蔵している。

このネットワーク変圧器の外観を図3.4に示す。

##### (2) 変圧器中身

ネットワーク変圧器は、系統設計上からその過負荷使用が見込まれている。一般に過負荷による変圧器の寿命損失は、年平均 1 % におさえることが適当とされており、変圧器の寿命は変圧器コイルに使用されている絶縁紙の熱劣化特性によって左右される。アミン類添加により絶縁紙の耐熱性を強化した HI-L 絶縁紙は、従来の絶縁紙に比べ 10~20°C 温度が高くなても同程度の寿命が期待できる。このネットワーク変圧器も HI-L 絶縁紙を使用することにより、変圧器を大きくすることなく、仕様で要求された過負荷運転を年数回行なっても、その寿命損失が 1 % 以下となるようにしている。

### (3) タンク

ブッシングなど一部を除き、完全密封溶接を行ない、1 kg/cm<sup>2</sup> の内外圧差に耐え、気密を保つ堅ろう(牢)な構造としている。

塗装は浸水運転などの過酷な条件で使用しても腐食しないように地下埋設変圧器用として研究開発した耐食性タルエポキシ塗装を施している。さらに放熱器には、タンク側板を波状に折り曲げたコルゲート形放熱器を採用して、現地補修時の再塗装が容易な構造としている。

#### 3.3.4 二次電圧の切り換え

現行の一般需要家に対する供給電圧は 105・210 V であるが、近い将来 400 V 配電することが予定されているため、これに対応できるように変圧器の二次電圧を 105・210 V から 240/415 V に切り換え可能な構造としていることは、3.1節に述べたとおりである。

一般に電流容量の大きい巻線から中間タップを引き出すことは、電気的・機械的に困難なため、このかわりに一次側にタップを設けて切り換える方法をとる場合もあるが、この方法によるとタップ切り換えによりインピーダンスが大きく変化する。鉄心・コイルの重量が増加するなどの欠点がある。

ネットワーク方式では、将来、電力需要の増加に応じて、変圧器を増設するのでネットワークを組む変圧器のインピーダンスをできるだけ一定の基準に合わせる必要があり、巻線方法にくふうを加え、インピーダンス変化の少ない構造としている。

すなわち、図3.5に示すとおり低圧巻線をタップ巻線と共通巻線に分け、タップ巻線は銅シートを使用して一層1ターン渦状巻線とし、

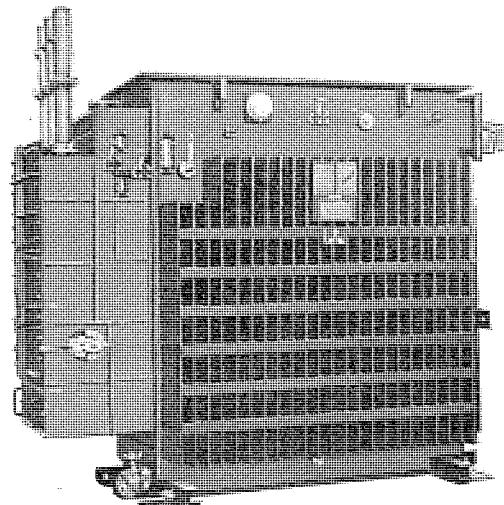


図 3.4 三相 750 kVA 地中式ネットワーク変圧器  
Three phase 750 kVA underground network transformer.

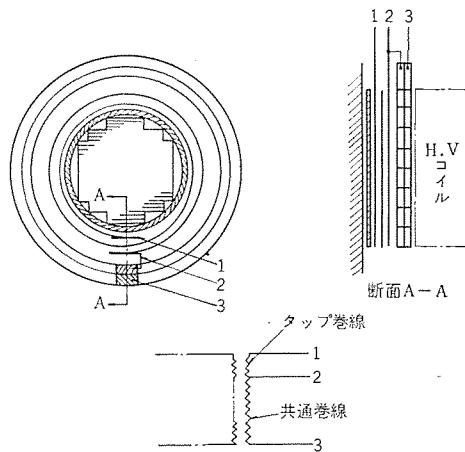


図 3.5 低圧巻線構造 Construction of L. V coil

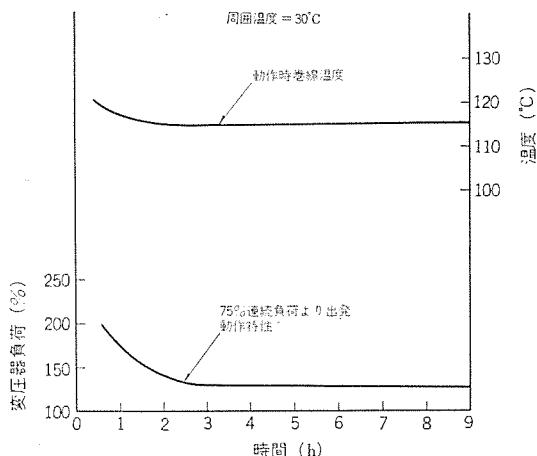


図 3.6 過負荷表示器動作特性  
Characteristic of over-load indicator.

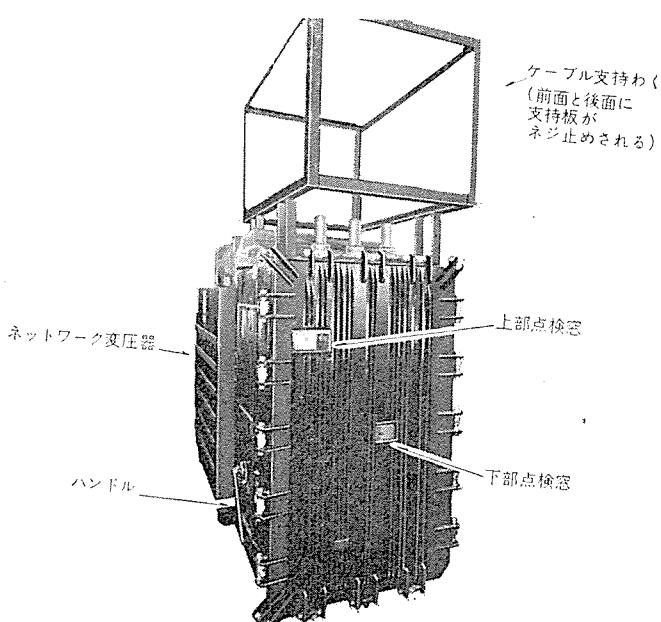


図 3.7 CM 形地中式 ネットワークプロテクタ  
Exterior view of Mitsubishi type CM underground network protector.

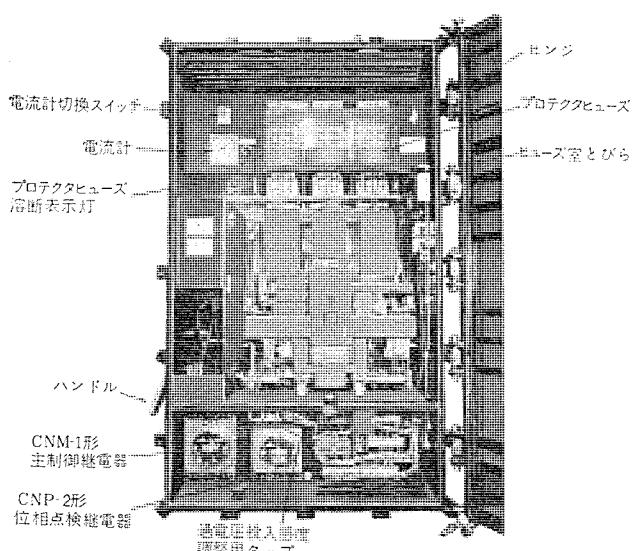


図 3.8 CM 形地中式 ネットワークプロテクタ の内部  
Interior view of type CM network protector.

その外側の共通巻線は、平角線を用いた通常のらせん状の巻線を施している。

このような巻線構造とすることにより、二次側のタップを切り換えるても、一次と二次巻線間の磁気的な同心対称配置関係が変わらないため、インピーダンス変化がきわめて少なく、短絡機械力に強い変圧器となっている。

引き出したタップ線は端わく上部に設けた端子台に集め、容易に結線換えができる構造としている。

### 3.3.5 過負荷表示装置

変圧器の過負荷を表示するため、変圧器負荷電流に比例した電流による発熱と、油温を動作要素とする熱動過電流继電器を変圧器油中に内蔵させ、変圧器巻線温度を模擬した特性とし、その温度が115°Cに達したとき、警報用の表示ランプを点灯する過負荷表示装置を取り付けている。

過負荷表示装置の動作特性を図3.6に示す。

### 3.4 ネットワークプロテクタ

#### 3.4.1 定格

国道地区で使用されるCM形ネットワークプロテクタの定格事項を列挙すると、つぎのようになる。

(1) 電圧方式: (a) 三相4線式  $\Delta$  240/415 V } 切り換え  
(b) 三相4線式  $\Delta$  105・210 V } 可能

(2) 定格電圧: 500 V

(3) 定格電流: 2,500 A 連続

(4) 定格周波数: 50/60 Hz

(5) 定格しゃ断電流: 45 kA (対称分実効値)

(6) 定格投入電流: 103.5 kA (波高値)

(7) 定格短時間電流: 45 kA 1秒間 (ヒューズを除く)

(8) 定格投入操作電圧: AC 240 V

(9) 定格引きはし電圧: AC 240 V

(10) 投入操作方式: 電磁ソレノイド方式

(11) 引きはし方式: コンデンサ引きはし方式

(12) 重量: 約 1,600 kg

#### 3.4.2 構成

CM形ネットワークプロテクタは以下に述べる機器からなっている。

(1) プロテクタしゃ断器 (DB-75 P形) 1台

#### 3.4.2 構成

FLK形 2,500 A, しゃ断電流 100 kA 3本

#### 3.4.2 構成

(a) 主制御继電器 CMM-1形 1台

(b) 位相点検继電器 CNP-2形 1台

(4) CT (N相補償用を含む) 1式

(5) ネットワーク继電器用 PT 1式

(6) 電流計および電流計切り換え開閉器 1式

(7) 操作用继電器および整流器 1式

(8) コンデンサ引きはし装置 1式

#### 3.4.3 構造上の特長

##### (1) 箱体

箱体は内・外圧に0.5 kg/cm<sup>2</sup>の圧力差があつてもこれに耐え、気密を保つ必要があるので、内・外間に補強を施しているほか、とびらの周囲、変圧器との接続部、ブッシングの基部、および点検窓などにネオプレンゴム製のパッキンを使用して、完全気密構造としている。

##### (2) 変圧器との接続

ネットワーク変圧器の二次側とネットワークプロテクタの変圧器側とは、ネットワークプロテクタ上部の連絡ダクトにより機械的・電気的に接続されている。また、箱本体とネットワーク変圧器とは下部で締め付け、固定されている。

#### (3) ネットワーク側端子

ネットワークプロテクタの負荷側は多端子コネクタを接続できる端子構造とし、コネクタと端子との接続部の露出個所はテーピングにより完全な耐水絶縁構造としている。二次グリッドケーブルは、この多端子コネクタに接続する。最大250 mm<sup>2</sup>のケーブルを1相あたり14本まで接続することができる。なおケーブルは、ネットワークプロテクタ上部に取り付けたケーブル支持わくにより固定し、ネットワークプロテクタ端子に過大な荷重がかかるないようにしている。

#### (4) 手動操作ハンドル

左側面に手動操作ハンドルを設けている。このハンドルは、「閉路」、「自動」、「開路」の3位置に切り替えができる。ハンドルを「自動」に切り換えると、ネットワーク继電器による自動運転を行なう。

#### (5) 圧力試験口

左側面下部に圧力試験用のせん(栓)を設け、現地において圧力試験を行なうことができるようしている。

#### (6) 点検窓

正面中央部の点検窓により、プロテクタシャンクの動作回数計と、開閉表示およびコンデンサ引きはずし電源表示灯の点検ができる。正面左上部の点検窓により、電流計およびプロテクタヒューズ溶断表示灯の点検ができる。

#### (7) 遠方表示用制御線接続箱

外部からの制御線の接続箱が左側面後部に設けられており、変圧器過負荷、プロテクタシャンクの開閉状態、プロテクタヒューズ溶断の各信号を遠方に取り出すことができる。

#### (8) プロテクタヒューズ

プロテクタシャンクの上部にプロテクタヒューズが取り付けられている。當時の使用状態ではプロテクタヒューズに触れることがないよう、前面に保護とびらを設け、安全を図っている。プロテクタヒューズが1本でも溶断すると、溶断表示突起が突出して、ヒューズ室左側の表示灯(赤色)を点灯するので、プロテクタ外部からヒューズの溶断を知ることができる。

#### (9) インタロック

安全な操作を確保するため、下記のインタロック機構を設けており、確実を期してすべて機械式としている。

(a) 外部操作ハンドルを「閉路」にしなければ、プロテクタシャンクは着脱不可能である。

(b) 外部操作ハンドルを閉路にしなければ、ヒューズ室とびらは開放不可能である。

(c) ヒューズ室とびらを開いたあとは、これを閉じないと外部操作ハンドルの操作は不可能である。

#### (10) プロテクタシャンク

プロテクタシャンクは、箱体内部にある操作軸を付属ハンドルにより回転すれば容易に着脱できる。シャンクをそう入して主回路が接続されると、制御回路は二次接触子により自動的に接続される。このシャンクは、はん用のDB-75形低圧気中シャンクに、外部操作ハンドルとの連結機構を取り付けたものである。

### 3.4.4 ネットワーク继電器適用上の特長

#### (1) 先に述べたように、ネットワーク電圧は、当初三相4線式

△105・210V、将来三相4線式入240/415Vであるので、いずれに対しても適用できる继電方式を採用した。

(2) ネットワーク继電器は、CNM-1形主制御继電器およびCNP-2形位相点検继電器が組み合わせて用いられている。これらの继電器の概略特性は以下のとおりである。

##### (a) CNM-1形主制御继電器

逆電流しゃ断特性 図2.2(a)において、θ=5°

γ=0.15%

過電圧投入特性 図2.2(b)と同じ。

##### (b) CNP-2形位相点検继電器

過電圧投入特性 図2.2(b)と同じ。

CNP-1形位相点検继電器が基準電圧として相電圧を用いるのに対し、CNP-2形继電器は線間電圧を用いるが、基準電圧の位相差(30°)を考慮に入れた位相特性としてあるので、実系統の電圧との関係はCNP-1形继電器とまったく同じである。

#### (3) 電圧切り換えに対する対策

ネットワーク继電器の電圧コイルは200V級の定格であるから、△105・210Vの場合は主回路電圧を直接印加する。入240/415Vの場合は、PTを介して主回路電圧を印加する。

主回路電圧を△105・210Vから入240/415Vに変更すると、定格電流も変化する。いずれの場合にもネットワーク继電器の入力を等しくする必要があるので、主回路の電圧方式に応じてCT比を変える。このネットワークプロテクタでは、つぎのような二重定格のCTを使用した。

△105・210Vの場合 1,800/5A

入240/415Vの場合 1,000/5A

なお、三相4線式△105・210Vで使用する場合は、2.3.2節に記したように単相3線回路特有の系統上の問題が発生するので、N相補償式ネットワーク继電方式を適用し、三相4線式入240/415Vの場合と全く同じ運用ができるようにした。このために、N相には変成比3,600/5Aの、N相補償用CTを設けた。(図2.4、2.5参照)

制御電源の定格電圧を200V級に選定し、△105・210Vの場合は線間電圧210Vを印加し、入240/415Vの場合は相電圧240Vを印加できるよう考慮した。

### 4. 関西電力納め神戸元町地区向け柱上式N相補償V接続ネットワークプロテクタ

#### 4.1 概説

関西電力では、2.1節に記したように、わが国で最も早く、低圧ネットワーク方式を実用化し、現在に至るまでに、大阪の2か所、京都の1か所で運用が続けられている。この運用実績から、神戸の繁華街に対しても、ネットワークを適用することが計画されたものである。ネットワークが実施された地域は、元町駅付近の鯉川筋と呼ばれる通りを中心とした繁華街で、神戸で最も繁華な三ノ宮に隣接した地域である。

このネットワークの場合も、関西電力の他の地域の場合と同様に、既存の密集地帯を対象にしているため、設備を地元化する余地がなくネットワーク機器はすべて、柱上式としている。ただ、柱上式とてまったく問題がないのではなく、繁華街であるため電柱増設が自由にできないという制約条件があり、止むを得ずアーケードの上に架台を設け、そこにネットワークユニットを設置した個所もある。本年1

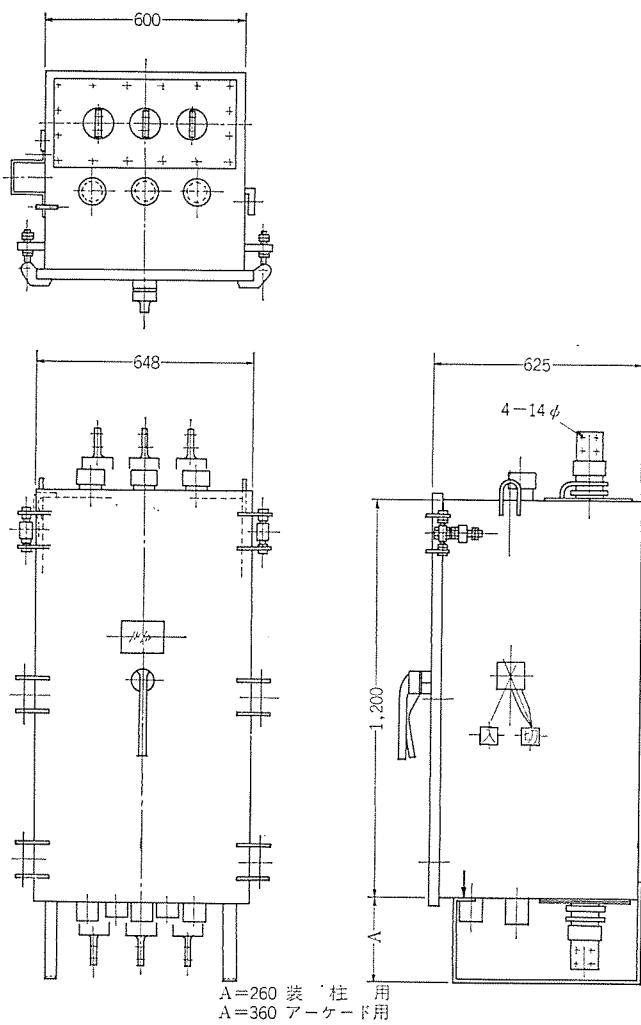


図 4.1 CM-45 形 (B) ネットワークプロテクタ  
Type CM-45(B) network protector.

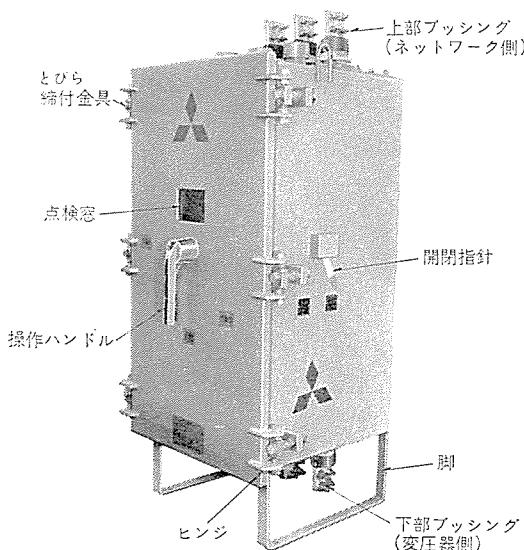


図 4.2 CM-45 形 (B) ネットワークプロテクタ  
Exterior view of Mitsubishi type CM-45(B) network protector.

月に据付け・運転にはいり、順調に動作している。

電圧方式は、三相 4 線式 V 105・210 V が採用された。この方式は 2.3.1 項に記した電圧方式選定基準のうち、(1)と(4)を満足する。すなわち需要家電圧 105・210 V と適合し、電圧 6,600/105・210 V の標準変圧器の適用が可能であるため、既に設備が全く流用

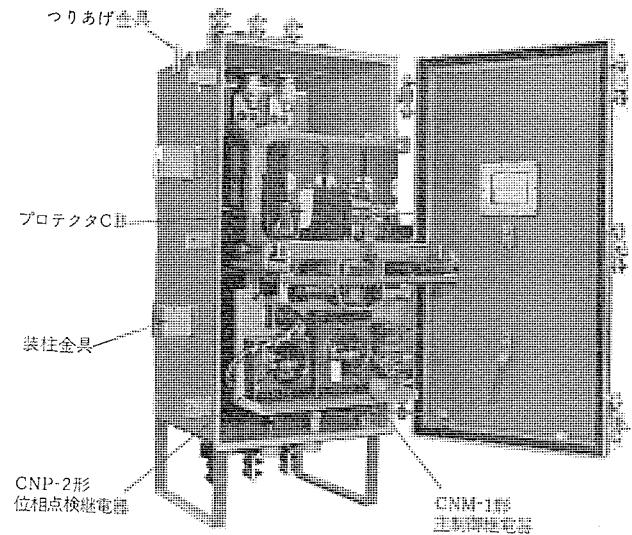


図 4.3 CM-45 形 (B) ネットワークプロテクタ の内部  
(しゃ断器台車は引出されている)  
Interior view of type CM-45(B) network protector with circuit breaker unit drawn out.

できるので、あらたに製作すべきものは、ネットワークプロテクタ程度である。

#### 4.2 定格

このネットワークプロテクタは、表 2.5 に記した、関西電力の京都河原町および大阪千日前地区用 CM-45 ネットワークプロテクタ<sup>(9)</sup>を基礎に、設計・製作されたもので、CM-45 B と称する。その定格事項を列挙すると、つぎのようになる。

(1) 電圧方式	三相 4 線式 V 105・210 V
(2) 定格電圧	250 V
(3) 定格電流 <sup>(注)</sup>	1,000 A 連続, 1,500 A 2 時間
(4) 定格周波数	60 Hz
(5) 定格しゃ断電流	25,000 A (交流分実効値)
(6) 定格投入電流	60,000 A (波高値)
(7) 定格短時間電流	25,000 A 2 秒 (交流分実効値)
(8) 定格投入操作電圧	AC 210 V
(9) 定格引きはずし電圧	AC 210 V
(10) 投入操作方式	電磁ソレノイド方式
(11) 引きはずし方式	コンデンサ引きはずし方式
(12) 重量	約 360 kg

#### 4.3 構成

CM-45 B ネットワークプロテクタは、概略以下に述べる機器からなっている。

(1) プロテクタ しゃ断器 (DBP-10 形)	1 台
(2) ネットワーク 緒電器	
(a) 主制御緒電器 CNM-1 形	1 台
(b) 位相点検緒電器 CNP-2 形	1 台
(3) CT (N 相補償用を含む)	1 式
(4) 操作用緒電器および整流器	1 式
(5) コンデンサ引きはずし装置	1 式

#### 4.4 構造上の特長

(1) 屋外式であるので、とびらの周囲、ブッシングの基部および点検窓などにネオプレンゴム製のパッキンを使用して、防水性を持たせ

注) 適合する変圧器 2×100 kVA (共用相)+1×100 kVA (専用相)……図 4.3 参照

ている。柱上に設置するためには必要な装柱金具を左側面に取り付け、かつ前面に操作ハンドル、点検窓を設けることにより、操作・点検が柱上でも容易にできるよう配慮している。ただし、側面つ(吊)りでも安定性を確保するために、背面つりの場合は違った、装柱上にくふうが必要であり、元町地区ネットワークではそれを実施している。

アーケード上にネットワークプロテクタを設置する場合は自立脚を取り付け台に固定する。

(2) 箱体の上下に3本ずつ端子が取り付けられている。下側端子が変圧器側、上側端子がネットワーク側である。

(3) プロテクタしゃ断器、ネットワーク继電器などが一体となって台車に取り付けられており、容易に引き出せる構造となっている。このしゃ断器は、はん用のDB-25形気中しゃ断器を基体として、ネットワークプロテクタ用として特に設計したものである<sup>(9)</sup>。

(4) 正面に設けた点検窓を通して、プロテクタしゃ断器の開閉表示器、動作回数計およびコンデンサ引きはずし電源表示灯を確認することができる。

(5) プロテクタしゃ断器の開閉表示は、しゃ断器本体の開閉表示器、箱体右側面の指針、下部の開閉表示灯により、容易に確認できる。

#### 4.5 ネットワーク继電器の適用上の特長

(1) このネットワークの電圧方式が三相4線式V105・210Vであるので、ネットワーク继電器は、CNM-1形主制御继電器およびCNP-2形位相点検继電器を組み合わせて用いた。これらの继電器の特性の概略を以下に示す。

##### CNM-1形主制御继電器

逆電流しゃ断特性

図2.2(a)において、 $\theta=0^\circ$ ,

$\gamma=0.1\%$

過電圧投入特性

図2.2(b)と同じ

##### CNP-2形位相点検继電器

過電圧投入特性

図2.2(b)と同じ

(2) 逆電流しゃ断感度の決定にあたっては、ネットワーク変圧器の励磁特性、一次フィーダーケーブルの充電電流の大きさ、ネットワークに含まれない一次側の負荷の大きさが明らかでなければならない。このネットワークでは、4.1節に記したように電圧6,600/105・210Vの標準変圧器を適用することが計画された。これはネットワーク専用の変圧器を設計、適用した新宿国道地区(3章参照)の場合に比べ、逆電流しゃ断感度に対する仕様がきびしいことを意味する。さらに、一

次系統は、ネットワーク以外の負荷が存在しないいわゆる専用系統であるので、ネットワーク继電器の逆電流しゃ断のための入力は、変圧器逆励磁電流と一次ケーブル逆充電電流だけである。

標準変圧器の励磁特性は、過去のデータをもとに、大きさは定格電流の0.6%，位相角は遅れ65度を想定した。一次フィーダーケーブルは、BN 250 mm<sup>2</sup>が1回線につき100m程度存在すると判断した。これらの数値は、関西電力(株)との共同検討により煮つめたものであり、系統設計の一つのキーポイントである。

この条件を最大限に生かすために、(1)に記した特性を選定した。ネットワークプロテクタ据付け後、現地で逆電流しゃ断試験を実施し、正常に動作することを確認した。

#### (3) N相補償(CT合成形)

電圧方式が三相4線式V105・210Vであるので、2.3.2項に記した単相3線回路特有の平衡化電流の問題が発生する。3.4.4項(3)と同様にN相補償式ネットワーク继電方式を採用し、正常に逆励磁電流しゃ断ができるよう考慮した。ただし、このネットワークプロテクタでは、3章の場合と異なり、N相がネットワークプロテクタの中を通過しないので、図2.5に示す方式をそのまま適用することができない。このため、CT合成形と呼ぶN相補償方式を新たに適用した。その原理をつぎに示す。

N相補償が不可欠であることは式(2.4)で示した。

$$P = E_A \left( I_A + \frac{1}{2} I_N \right) + E_B \left( I_B + \frac{1}{2} I_N \right) + E_C I_C \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

図2.5において、 $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_N$ の間にキルヒホフの法則がなり立つから、

$$I_A + I_B + I_C + I_N = 0 \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

式(2.5)を用いて、式(2.4)の $I_N$ を消去すると

$$P = E_A \left( \frac{1}{2} I_A - \frac{1}{2} I_B - \frac{1}{2} I_C \right) + E_B \left( -\frac{1}{2} I_A + \frac{1}{2} I_B + \frac{1}{2} I_C \right) + E_C I_C \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

この式は、A, B, C各相の電流だけ取り出せば、N相電流を用いなくてもN相補償を行なうことができる。この方式は、CT二次出力の合成によりN相補償を行なうものであるから、CT合成形N相補償方式と呼ぶ(特許出願中)。このN相補償方式は、N相が箱体を通過しない柱上形ネットワークプロテクタに適していることが了解されるであろう。

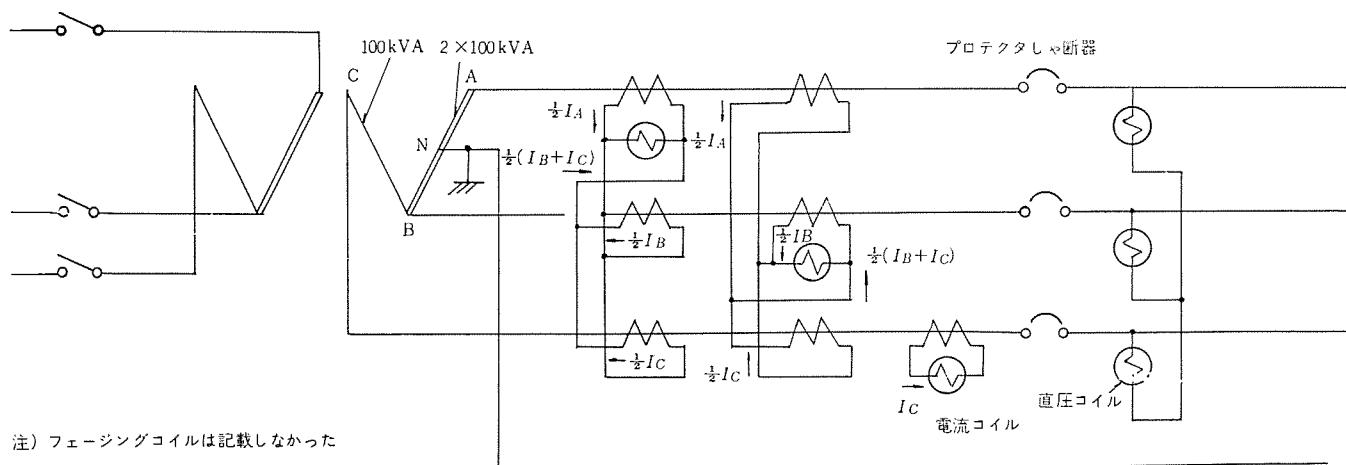


図4.4 CT合成形N相補償方式リレー回路例  
Example of network relaying with multi-CT type compensation for N-phase current.

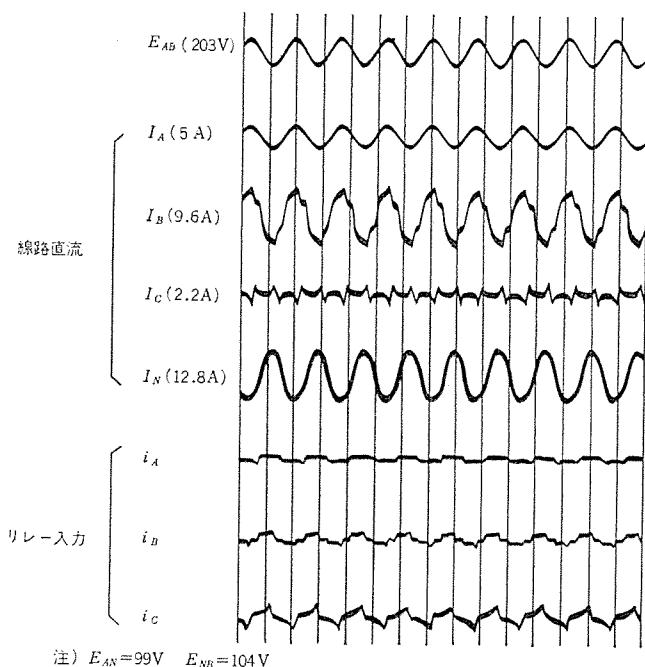


図 4.5 CT 合成形 N 相補償式 ネットワーク プロテクタ の  
オシログラム 例

Example of oscilloscope obtained from network protector with multi-CT type compensation for N-phase current.

CM-45 形 (B) に適用した CT 合成形 N 相補償方式の リレー 回路 図を、図 4.4 に示す。この図からわかるように、必要な CT の数が多いが、導体の形状をくふうし、小形の CT が取り付けられるようにした結果、ネットワーク プロテクタ の限られた スペース でも問題なく、すべての CT が取り付けられた。

この N 相補償方式の効果を示す オシログラム の例を図 4.5 に掲げる。この図は、図 2.3 において、単相負荷が平衡せず  $E_{AN} < E_{NB}$  という関係がなりたつときに、変圧器を逆励磁したときの、線路電流および ネットワーク 緊急電器の入力電流の波形を示すものである。この図

を観察すると、主回路に平衡化電流が流れても、CT 合成形 N 相補償方式の ネットワーク 緊急電器の入力は、変圧器逆励磁電流となっていることがわかる。

ネットワーク の各種の一次側短絡、および二次側短絡に対しても、正常に動作することを、工場試験により確認した。(表 2.3 参照)

## 5. む す び

レギュラ ネットワーク 方式の基本事項を説明したあと、最近の当社の ネットワーク 機器について概説を加えた。電圧切り換え式 ネットワーク、あるいは V 接続 ネットワーク など、わが国特有の方式が開発され、高信頼度の電力供給が経済的に行なわれつつあり、今後もこの努力は続けられていくであろう。

わが国においては、レギュラ ネットワーク の基本的な二つの方式—地中式および柱上式—は今後も併存し、ネットワーク 地域の環境条件、将来の電圧方式への移行の難易、投資額の多少などを考慮して適宜使い分けされ、供給信頼度が高く、電力消費の増大への対処が容易で、都市美観の維持に貢献し、保守運用が容易であるなどの利点が活用されるものと考えられる。

## 参 考 文 献

- (1) 森：三菱電機技報、40, No. 5, 803 (昭 41)
- (2) 森ほか：三菱電機技報、41, No. 11, 1,354 (昭 42)
- (3) 寺田ほか：三菱電機技報、41, No. 11, 1,385 (昭 42)
- (4) 諸住ほか：三菱電機技報、41, No. 11, 1,371 (昭 42)
- (5) 岩崎ほか：三菱電機技報、41, No. 11, 1,374 (昭 42)
- (6) 森ほか：昭 42 電気学会東京支部大会、No. 347
- (7) 梅本ほか：昭 43 電気四学会連合大会、No. 901
- (8) Westinghouse El. Co. : Electric Utility Engineering Reference Book, 3, (Distribution System) (1959)
- (9) 東松ほか：三菱電機技報、39, No. 12, 1,526 (昭 40)

# 世界貿易センタービル納めスポットネットワーク受電設備

梅本 隆司\*  
片山 明\*\*・阿部 智\*\*・福田 信夫\*\*  
佐藤 洋一\*\*\*

## Spot Network System for the World Trade Center Building in Tokyo

Kobe Works Takashi UMEMOTO  
Itami Works Akira KATAYAMA・Satoshi ABE・Nobuo FUKUDA  
Nagoya Works Yoichi SATO

In large cities symbolized by Tokyo there has been a trend of applying a low-voltage spot network system to lofty buildings for these years and the number of those in operation is on the increase. Spot network electric power receiving equipment built by Mitsubishi based on its richest experience in this country has been delivered to the buildings in Tokyo, Osaka and Fukuoka cities since last year. They are now operating successfully. A spot network system taken up here is the one supplied to the World Trade Center Building and is very significant as the first product installed in a regular skyscraper in Japan.

This article described the basic information on the spot network system and that delivered to the above mentioned building.

### 1. まえがき

都心部の高層ビルへの電力供給方式として、低圧スポットネットワーク方式が適していることが認識され、わが国においても数年前から、東京・大阪・福岡において実施例を見るに至り、ビルの受電方式の一つとして定着したように見受けられる。

わが国ではスポットネットワーク方式が実現する以前から、低圧レギュラネットワーク方式が主要都市で実施されてきたが、三菱電機は多くのネットワーク機器を供給し、レギュラネットワークとスポットネットワーク両者に共通なネットワーク技術を確立するとともに、その成果を発表してきた<sup>(1)(2)(3)</sup>。

このように長期間を経て蓄積されたネットワーク技術を生かして、設計・製作された三菱電機のスポットネットワーク受電設備は、昨年から九州・関西・東京の各電力会社管内のビルに納入され、いずれも順調に動作している。ここにとりあげた世界貿易センタービル向けスポットネットワーク受電設備は、本格的な超高層ビルに適用された最初のものであり、非常に意義深いものである。

本文は、世界貿易センタービルに納入したスポットネットワーク受電設備の紹介と、スポットネットワークの基本事項の説明とを主目的として作成したものである。

### 2. スポットネットワーク方式

#### 2.1 概要

スポットネットワーク方式に関しては、各種の論文<sup>(2)(4)</sup>が発表されているので、詳細はそれらの文献を参照願うこととし、ここでは概要のみ触れる。

スポットネットワーク方式は、通常3回線以上の一次フィーダと変圧器、およびその二次側に設けられた保護装置からなるもので、その系統構成の一例を示すと、図2.1のようになる。スポットネットワーク方式は、以下に述べるような特長を有していることから、都心部のビルや、大工場など、高度に集中した大容量負荷地域に対する配電・受電方式として適したものであると考えられている。

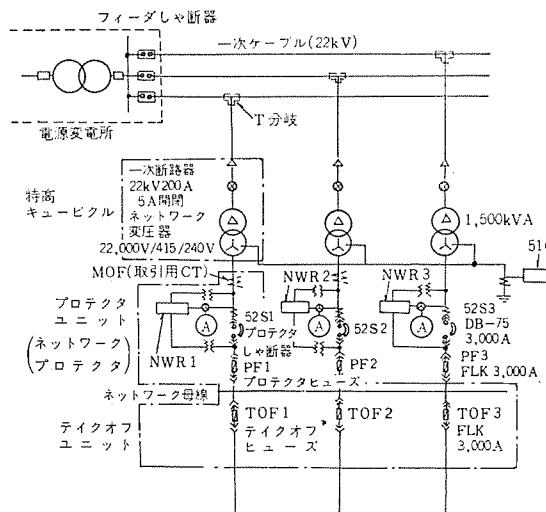
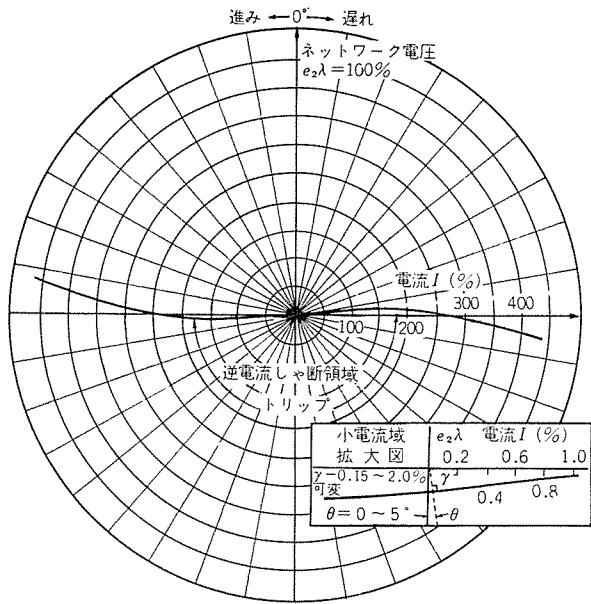


図 2.1 スポットネットワーク受電設備スケルトン例  
Example of skeleton diagram of spot network system.

- (1) 信頼度が高い。
- (2) 電圧変動が小さい。
- (3) 自動運転である。

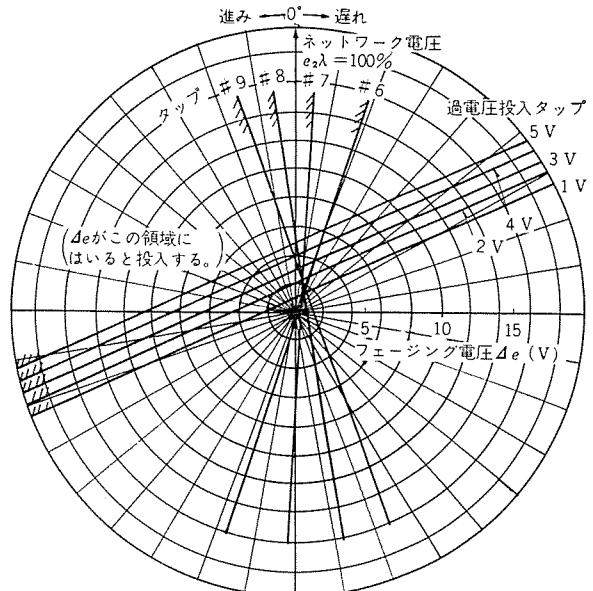
これは、図2.1に記したプロテクタユニットにより行なうものであり、2.2節において詳述する。

- (4) 一次フィーダケーブルの利用率が大きい。
- ループ配電方式では50%であるが、スポットネットワーク方式では、一次フィーダケーブルが2回線の場合で50%，3回線の場合で67%，4回線なら75%である。
- (5) 需要家の新設に対処しやすい。
- 需要家が新設されても、T分岐箱の設置、および分岐ケーブルの布設により対処することができる。
- (6) 一次側保護設備が簡略化される。
- 一次側にしゃ断器がないからであるが、この利点を生かすためには、スポットネットワーク方式の持つ、つぎのような特性に注意を払う必要があり、この点からスポットネットワーク方式は高度の総合技術を要す



(a) シャ断特性

図 2.2 ネットワークリレーの特性例



(b) 投入特性

注:  $\Delta e = e_1 \lambda - e_2 \lambda$

Typical characteristics of network relay.

るといわれる所以である。

- (a) 低圧側のシャ断容量が大きくなる。
- (b) ネットワーク変圧器からネットワークプロテクタを経て、母線に至る間は、この方式の最重要部であり、バスダクトを使用するなど、無事故化はかかる必要がある。
- (c) バスダクトは、二次側短絡に耐えうる強度を有すること。

## 2.2 ネットワークプロテクタの自動動作

ネットワークプロテクタの自動動作は、スポットネットワークの場合も、レギュラネットワークの場合も同じである。レギュラネットワークに関する論文が本号に掲載されており、その中にネットワークプロテクタの自動動作が詳述されているので、ここでは概略のみ説明する。

### (1) 逆電流シャ断

一次フィーダで事故が発生した場合、変電所のフィーダシャ断器トリップ後、故障電流（短絡事故の場合）または変圧器逆励磁電流と一次フィーダ逆充電電流の和（地絡事故の場合）が、事故回線のネットワークプロテクタを逆流することを検出してトリップする機能である。

### (2) 過電圧投入

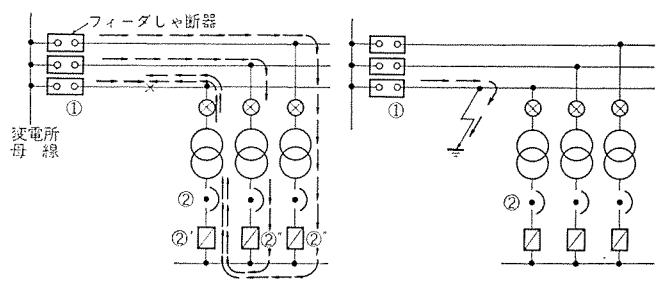
一次フィーダが故障で、いったんネットワークプロテクタが開路したのち、その故障が除去され、再送電された場合のように、ネットワーク側にはすでに電圧が存在しているとき、ネットワークプロテクタの両極間の電圧が所定の条件を満足すると、自動的に閉路する機能である。

### (3) 無電圧投入

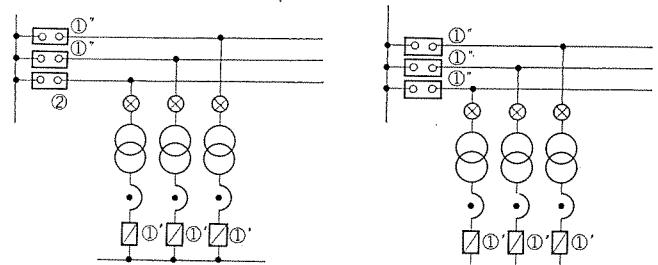
ネットワーク側が無電圧、すなわち、運転開始時、あるいは全停復旧時のように、ネットワークに給電する全フィーダが停電の場合、いずれかのフィーダが充電されると、そのフィーダのネットワークプロテクタが自動的に閉路する機能である。

以上のネットワークプロテクタの自動動作を中心に、ネットワークプロテクタの機能を整理すると表2.1が得られる。これらの自動動作はネットワーク继電器によって得られるものである。ネットワーク继電器の特性例を図2.2に示す。

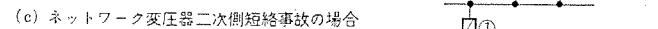
スポットネットワークには、ネットワークプロテクタのほかに、プロテクタヒューズおよびテイクオフヒューズが適用されていることが、図2.1に示されている。これらのヒューズは、ネットワークプロテクタの後備保護、あるいは



(a) 一次フィーダの短絡事故の場合



(b) 一次フィーダの地絡事故の場合



(c) ネットワーク変圧器二次側短絡事故の場合

注:番号は動作の推移を示し、ダッシュを付けたものは、後備保護動作順位を示す。

図 2.3 ネットワーク系統の事故に対する保護機器の動作順位  
Sequential operation of protective devices against faults on spot network systems.

表 2.1 ネットワークプロテクタの機能  
Function of network protector.

プロテクタの機能	
ネットワークプロテクタの機能	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 逆電流シャ断           <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 一次フィーダ短絡事故シャ断</li> <li>(2) 変電所における一次フィーダシャ断時にトリップ（一次フィーダ地絡事故を含む）</li> <li>(3) 負荷側事故で不動作</li> <li>(4) 時時の負荷電流で不動作</li> </ul> </li> <li>2. 無電圧投入………（ネットワーク側無電圧、フィーダ側充電時の投入動作）</li> <li>3. 過電圧投入………（ネットワーク充電状態での再投入動作一位相点検リレーによりボンディングの防止）</li> <li>4. ヒューズによる後備保護</li> <li>5. 手動操作………開、閉</li> </ol>

盲点保護の目的で使用されるものである。スポットネットワークにおける各種の事故に対して、うえに述べた各種の保護機器がどのように動作するかを、図2.3に示す。

### 2.3 三菱電機のスポットネットワーク

ネットワークプロテクタは文字どおり、ネットワークを事故から保護する装置であり、スポットネットワーク受電設備の心臓部であるので、高信頼度を有することが必要である。

表2.2 三菱スポットネットワーク受電設備標準定格例  
Standard ratings of Mitsubishi spot network system equipment.

#### (a) プロテクタユニット

変圧器容量	プロテクタシャン断器				ネットワーク母線
	定格電流	定格電圧	しゃ断電流	呼称	
500 kVA	1,000 A	500 A	10 kA	DSN-1,000	固定形
750 kVA	1,500 A		15 kA	DSN-1,600	
1,000 kVA	2,000 A		20 kA	DSN-2,000	
1,500 kVA	3,000 A		30 kA	DB-75	引出形
2,000 kVA	4,000 A		40 kA	DB-100	

#### (b) テイクオフユニット

フレームサイズ	1面あたり 幹線数	テイクオフヒューズ			
		定格電圧	定格電流	しゃ断電流	呼称
1,000 A	3	500 A	1,000 A	200 kA	FLK-1,000
2,000 A	3		2,000 A		FLK-2,000
3,000 A	3		3,000 A		FLK-3,000
4,000 A	2		4,000 A		FLK-4,000

注) ネットワーク電圧=415 Vとした

表2.3 スポットネットワーク受電設備納入実績

List of spot network receiving system supplied.

製作年度	納入先	電圧方式	ネットワーク 変圧器	1次断路器	ネットワークキュービクル		備考
					プロテクタユニット	テイクオフユニット	
昭和44年度 (1969)	福岡朝日ビル (竹中工務店)	△/入 22,000 V/460/265 V	H種・乾式 3φ 1,500 kVA (130% 8時間) 3台	真空スイッチ管使用 3点式 22 kV 200 A しゃ断 5 A 短時間 24 kA 2s	3,000 A フレーム 3面 ACB : DB-75 (ヒューズ : FLK 3,000 A) (リレー : CNM-1 CNP-1)	3,000 A 幹線 3回路収納盤 1面 (ヒューズ : FLK 3,000 A)	取引用 CTは、テイクオフユニットに収納
昭和44年度 (1969)	船場セント・ビル	入/△ 22,000 V/6,600 V	油入式 3φ 2,500 kVA (130% 8時間) 3台	気中式 2点式 22 kV 200 A しゃ断 5 A 短時間 24 kA 2s	WN形閉鎖配電線 600 A フレーム 9面 CB : 6DHE-15 (リレー : CNM-1 CNP-1 その他)	ファーダ CB盤(別置)設置のため、テイクオフユニットなし	高圧スポットネットワーク・ネットワークキュービクルには、取引用 CT盤等6面を含む
昭和44年度 (1969)	世界貿易センター・ビル	△/入 21,500 V/415/240 V	H種・乾式 3φ 1,000 kVA (130% 8時間) 3台	真空スイッチ管使用 2点式 (22 kV 200 A しゃ断 5 A 短時間 24 kA 2s)	2,000 A フレーム 3面 ACB : DB-75 (ヒューズ : FLK 2,000 A) (リレー : CNM-1 CNP-1)	2,000 A 幹線 3回路収納盤 2面 (ヒューズ : FLK 2,000 A)	取引用 CTは含まず
昭和44年度 (1969)	タイムライフビル (三菱地所)	△/入 21,500 V/415/240 V	H種・乾式 3φ 1,000 kVA (130% 8時間) 3台	真空スイッチ管使用 2点式 (22 kV 200 A しゃ断 5 A 短時間 24 kV 2s)	2,000 A フレーム 3面 ACB : DB-75 (ヒューズ : FLK 2,000 A) (リレー : CNM-1 CNP-1)	2,000 A 幹線 3回路収納盤 1面 2回路収納盤 1面	取引用 CTは、プロテクタユニットに収納
昭和44年度 (1969)	国鉄根岸線 (鉄道建設公団)	△/入 6,600 V/210/121 V	油入自冷式 3φ 100 kVA 2台×2組	気中式 2点式 6.6 kV 200 A しゃ断 5 A 短時間 24 kA 2s	400 A フレーム 2面×2組 (ACB : NFTM 400) (リレー : CNM-1 CNP-1)	ファーダ CB盤(別置)設置のため、テイクオフユニットなし	

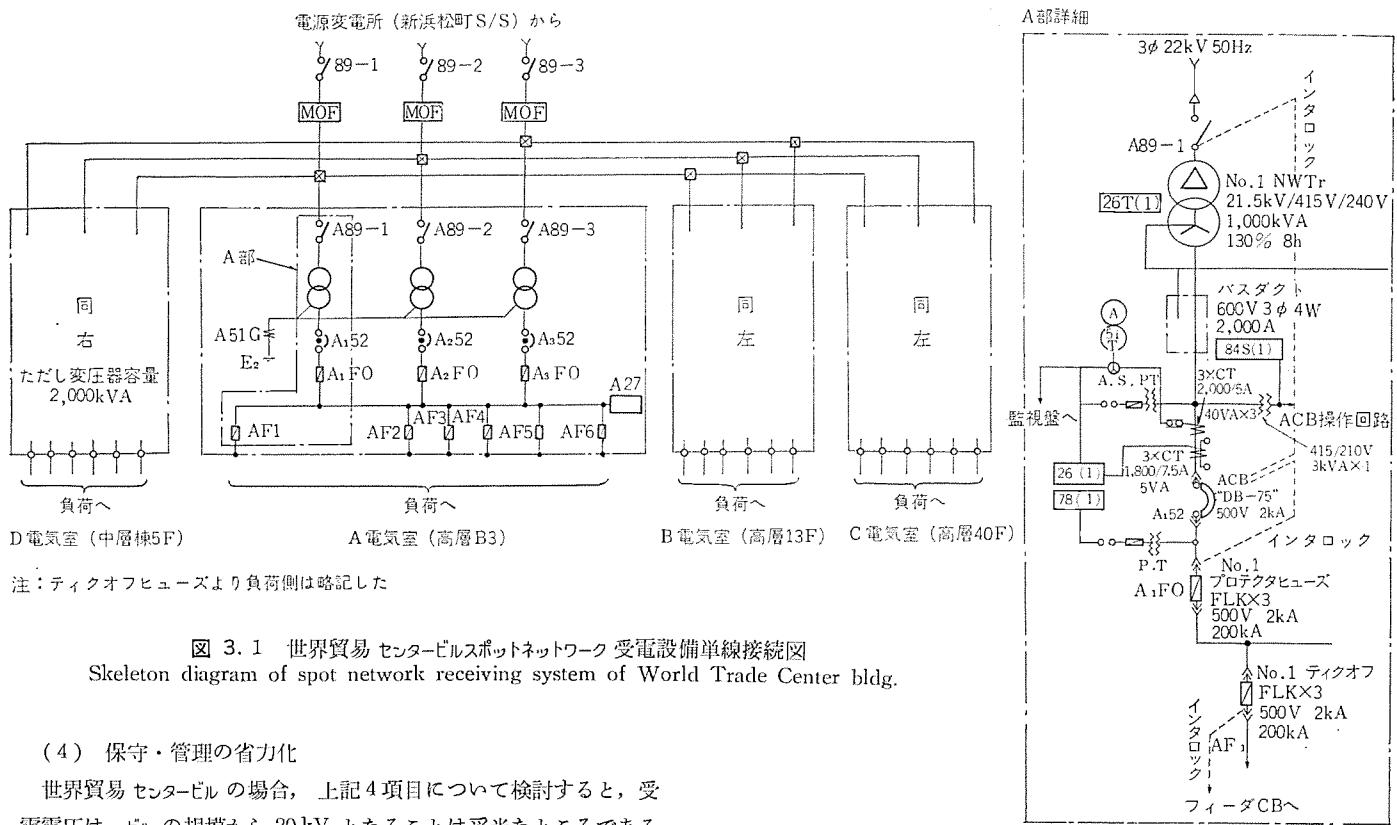


図 3.1 世界貿易センタービルスポットネットワーク受電設備単線接続図  
 Skeleton diagram of spot network receiving system of World Trade Center bldg.

#### (4) 保守・管理の省力化

世界貿易センタービルの場合、上記4項目について検討すると、受電電圧は、ビルの規模から20kVとなることは妥当なところである。残された3項目は相互に関連があるうえに、ビルの構成性格を無視しては決定できない性質のものである。

必要な検討が加えられたのち、世界貿易センタービルではビルの電気系統を3分割して、それぞれに低圧スポットネットワークを設置し、負荷へ供給する方式（スポットネットワーク群の分散配置）が採用された。この決定は、ビル電気設備の設計者によってなされたものであり、上記の各項目がどのように評価されたかは、電気機器の製造者たる当社には不明であるが、スポットネットワーク群の分散配置方式は下記の特長を有しており、超高層ビルの受電設備として合理的なものであるといえる。

(a) 超高層ビルでは、エレベータの巻上機や空調動力機械を屋上あるいは階だけに集中設置せず、途中の階にも配備する必要が生じる。スポットネットワーク群の分散配置方式では、このように分割配置された負荷群の近くにネットワークユニットを設置する。スポットネットワークでは、ネットワーク母線が、いわば無停電電源であるから、このことは負荷の近くに高信頼度電源が設けられることを意味する。

(b) 負荷群の近くに電源が配備されることにより、負荷への送電損失・電圧降下が減少する。

(c) 各スポットネットワーク相互間に、非常時用の連絡母線を設けておけば、万一、あるスポットネットワークの変圧器が停止した場合でも、連絡母線を通して他のスポットネットワークからの応援を受け、エレベータなどの重要負荷には電力を供給することができるので、混乱の発生を避けられる。

(d) 各スポットネットワークのネットワークユニットが小容量であるので、電気室の床荷重が軽減される。

(e) スポットネットワーク 全般についていえることであるが、変圧器一次しゃ断器が不要であり、さらに、ネットワーキラーによる全自动運転が可能であるから、受電設備の保守・管理の簡素化・省力化がはかる。

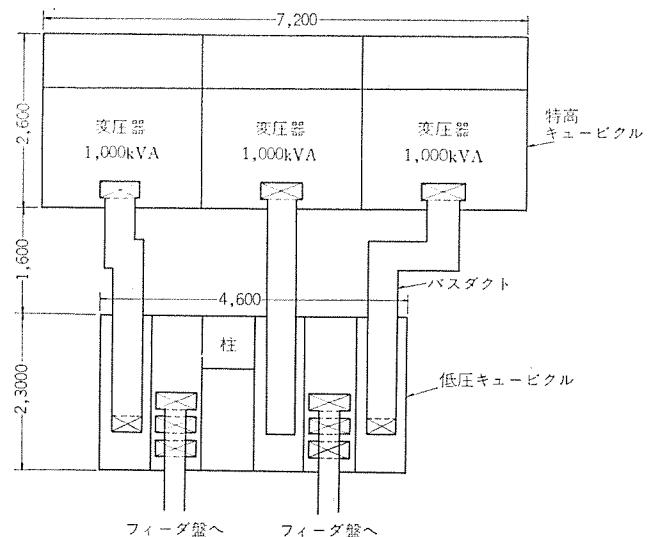


図 3.2 スポットネットワーク受電設備機器配置例  
 Example of spot network receiving system equipment arrangement.

世界貿易センタービルの受変電設備の単線接続図を図 3.1 に示す。スポットネットワーク群が図では 4 か所存在するが、1 か所は超高層ビルに付属する中層ビルに設けられており、先にも述べたとおり超高層ビルには 3 か所のスポットネットワーク群が存在し、給電している。これら 3 か所のスポットネットワーク群は、地下 3 階、地上 13 階、40 階に設置されている。

電源変電所は同じビルの地下3階に設けられた東京電力新浜松町変電所である。

このスポットネットワークでは、図3.1に示すとおり、取引用変成器がネットワーク変圧器二次側でなく、一次側に設けられている。これは、4群のスポットネットワーク変圧器二次側に個々に取引用変成器を設け、その電力量指示値を合成するよりは、合理的と判断されたため

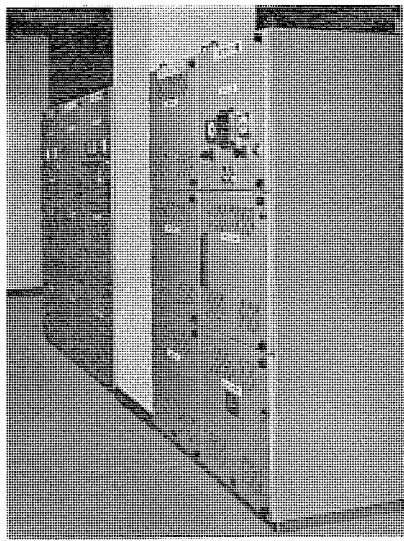


図 3.3 世界貿易 センタービル の スポットネットワーク 機器配置例  
Typical arrangement of spot network system equipment of World Trade Center bldg.

であろう。

世界貿易 センタービル における スポットネットワーク の 機器配置の例 (地下 3 階) を図 3.2, および図 3.3 に示す。

### 3.2 スポットネットワーク用 23 kV 特高キュービクル

国内最大の製作実績を有している三菱特高 キュービクル の 技術が生かされている スポットネットワーク 用特高 キュービクル は、高い信頼度および保守・点検の安全・容易さなどの 点で非常に好評を得ている、JEM-1114 F 項相当の単位閉鎖配電盤である。

#### 3.2.1 構成

スポットネットワーク 用特高 キュービクル は受電回線数と同一面数とし、各 キュービクル には、図 3.4 の 単線接続図 に示すような、ケーブルヘッド、ケーブルセパレータ、一次側断路器 (励磁電流開閉用)、乾式変圧器などの 主回路機器と、これらの制御装置一式を内蔵している。図 3.5 は特高 キュービクル 断面図を示し、図 3.6 は受電断路器側 (ケーブル引込側) の外観写真である。

#### 3.2.2 特長と構造

スポットネットワーク 用特高 キュービクル は下記のような特長を有している。

(1) 特高充電部は完全に接地金属で隔離されているので安全である。

(2) 電力ケーブル 分岐箱および終端箱、受電断路器、ネットワーク変圧器各相互間は接地金属で隔離されている。このため特高充電中においても、受電断路器と変圧器二次側 プロテクタ しゃ断器を開路すれば、安全に変圧器の保守点検ができる。また、特高機器収納室と、変圧器冷却用 ファン、断路器操作用機構などを収納している低圧制御室とは接地金属により隔離されているので、必要に応じて特高充電中でも低圧制御器具の保守点検を安全に行なうことができる。

(3) とびらは特高室用と低圧室用に分割され、特高室とびらは特殊ボルトにより締め付け、特殊スパナでだけ開閉できるようにとくに安全を考慮しており、低圧室とびらは施錠して合いかぎにより解錠開ひ (扉) できる。

また、とびら表面には断路器「開」「閉」確認用のぞき窓、変圧器の温度計のぞき窓、断路器操作のための小とびら、その他断路器および変圧器冷却用 ファン の運転表示灯、内部照明灯用 スイッチ な

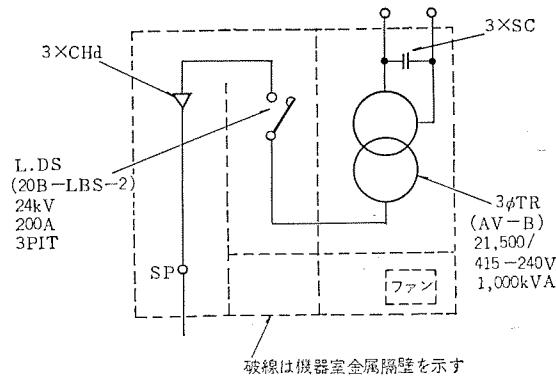


図 3.4 スポットネットワーク 用 23 kV キュービクル 単線接続図  
(1 面分)

Single line diagram of 23 kV cubicle for spot network system.

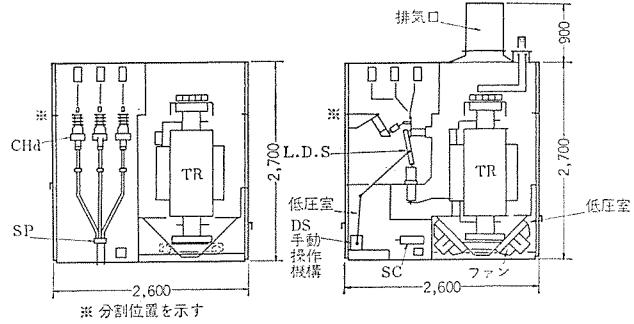


図 3.5 スポットネットワーク 用 23 kV キュービクル 断面図  
Cross sectional view of 23 kV cubicle for spot network system.

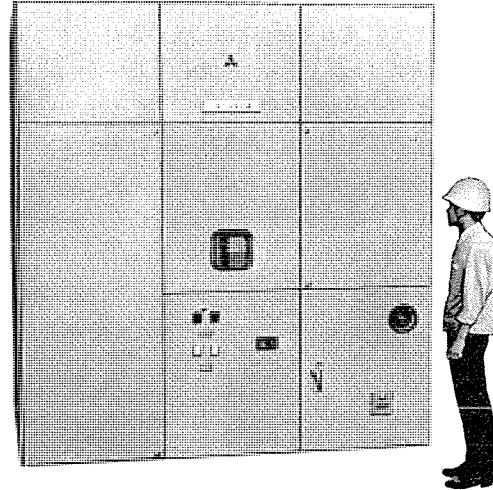


図 3.6 スポットネットワーク 用 23 kV キュービクル  
23 kV cubicle for spot network system.

どを設け、日常はとびらを開くことなく キュービクル 外部から点検できる。

(4) 特高 キュービクル は工場組立 完了のままで搬入据付するのを標準としているが、ビルの性格を考慮し図 3.5 の※印部で分割搬入できるようにしてある。

(5) 変圧器冷却用空気取り入れ口とびらには エアフィルタ を取り付けてある。これは、吸じん (塵) して汚損した場合は中性洗剤で洗浄すれば再使用できるもので、簡単に着脱できる構造となっている。

#### 3.3 一次断路器

一次断路器は ネットワーク 変圧器の一次側に設けて、変圧器励磁電

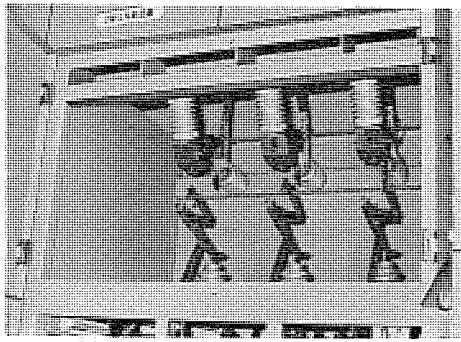


図 3.7 一次断路器  
Primary disconnecting switch.

流を開閉する責務を持たせるため、従来から多数の実績をもつ負荷断路器の構造方式をとりいれ、かつ縮小化と保守の簡便化、および軽操作化を図るために新しい消弧装置を使用している。

図 3.7 はキュービクル内に収納した一次断路器の本体部分を示すもので、大略次のような特長を有している。

(1) 消弧装置に真空スイッチ管を使用している。

このため、十分に余裕のある消弧能力を有しており、またアーチが外部に出ないため、余分な空間を必要としない。

(2) 構造が簡単である。

この一次断路器は普通の刃形断路器に並列に真空スイッチ管を取り付けたもので、速動機構は各相に設けているから、操作時の衝撃が軽微となっている。したがって強度面においてキュービクルの設計が容易である。

(3) 接触部は銀一銀接触である。

可動側および固定側ともに銀の厚めきを施しており、経年変化が少なく余裕のある通電能力を有している。

(4) 保守の必要がほとんどない。

消弧装置および速動部分は無保守でよく、他の部分もほとんど保守を必要としない。

(5) 断路器の開閉状態がよくわかる

一次断路器の開閉状態がキュービクル正面からはっきり見えるように取り付け方法が考慮されており、とびらを閉じた状態でものぞき窓から容易に見ることができる。

### 3.4 ネットワーク変圧器

都心部ビル受電用主変圧器には、従来から H 種絶縁乾式変圧器が多く採用されている。これは油入式に比べて高価となつても、人口の集中するビルでの火災を極度におそれたこと、また乾式変圧器は小形・軽量となり、建屋の有効利用をはかるうえに好都合であり、ビルの特殊性にマッチしているからであろう。乾式・油なし受電設備は、鋼板製キュービクルに収納され、近代建築の美観をそこなわない点においても顧客の好評を得てきたと思われる。わが国の代表的な超高層ビルの一つである世界貿易センタービル向けスポットネットワーク変圧器は、当社の過去における数多くの乾式変圧器製作経験を生かし、設計・製作したものである。

変圧器の仕様は下記のとおりである。

3φ 50 Hz 1,000 kVA × 3 台, 22~20 kV/415~240 V

三相 4 線式、H 種絶縁、乾式風冷式、△/△

変圧器本体重量 3,400 kg

変圧器中身寸法 (mm) 幅 × 奥行 - 高さ

1,900 × 940 - 2,270

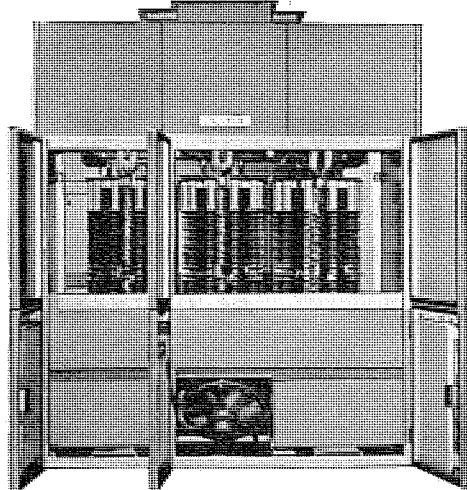


図 3.8 ネットワーク変圧器キュービクル  
Network transformer cubicle.

巻線温度上昇 120 deg 以下 (実測値=65 deg)

規格 JEC-168

過負荷耐量 100 % 負荷連続使用後、130 % 負荷 8 時間の使用に耐える。

風量 40 m³/分, 40 mmAq

送風機出力 0.4 kW × 2 台

% インピーダンス 仕様 7.5~8.25

実績 7.73, 7.71, 7.71

図 3.8 に、キュービクルに収納し、前面とびらを開閉した状態における外観を示す。

三菱スポットネットワーク変圧器の特長は、つぎのとおりである。

(1) キュービクルと一体化して図 3.8 に示すように、特高側充電部と低圧側とを接地金属板で分離し、下部に冷却風取り入れ口を設けて保守の安全をはかっている。

(2) 冷却用送風機には当社独特の小形プロペラファンを使用し、ネットワーク変圧器に要求される過負荷耐量を持たせるため、十分な風量を確保している。容量が大きくなれば送風機の取り付け個数を増し、かつむだな空間を少なくするように配慮している。

(3) 変圧器本体は車輪付とし、キュービクル前面、わく組ボルト締め個所を取りはずせば、前方へ引出し可能な構造としている。

(4) 梱入時の高さ制限を考慮して、変圧器上部配線導体は、ろう付とボルト締めとの組合せとし、簡単に取りはずしができるように設計している。

(5) ネットワーク変圧器は、常時 3 台が並列運転されるので、製造工程におけるインピーダンスのばらつきを少なくするため、材料管理はもちろんのこと、過去の設計経験を生かして、コンピュータ導入などにより、設計精度の向上に力を入れている。

(6) 逆電流しゃ断を行なうため、ネットワーククリレーとの協調がとれるように配慮している。

### 3.5 ネットワークプロテクタおよびテイクオフ装置

#### 3.5.1 構成および定格

世界貿易センタービルに納入したネットワークプロテクタおよびテイクオフ装置の構成を図 3.9 に、外観を図 3.10 に示す。

これらの定格事項をつぎに記す。

ネットワークプロテクタ

定格電圧 500 V

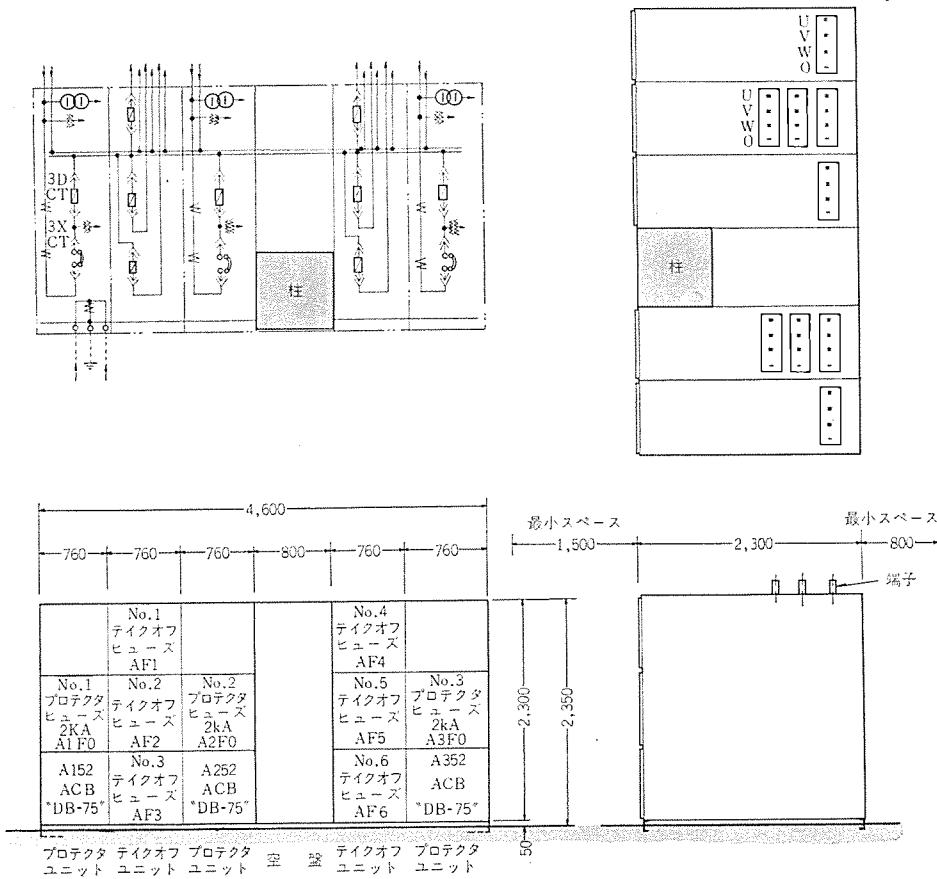


図 3.9 スポットネットワークの低圧キュービクル構成例  
Example of arrangement of low voltage cubicles for spot network system.

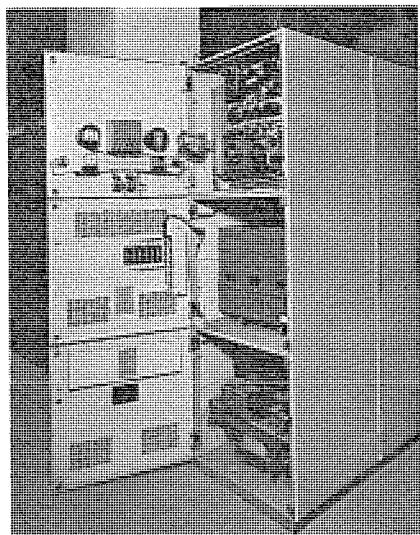


図 3.10 世界貿易センタービルのスポットネットワーク低圧キュービクル例

Example of low voltage cubicles for spot network system of world trade center bldg.

定格電流	2,000 A
定格しゃ断電流	20 kA (プロテクタしゃ断器)
	200 kA (プロテクタヒューズ)
テイクオフ装置	
定格電圧	500 V
定格電流	2,000 A
定格しゃ断電流	200 kA
ネットワーク继電器	

### 3.5.2 特長

このネットワークプロテクタ、テイクオフ装置は下記のような特長を有する。

(1) キュービクルの主回路収納部は3段積み構造とし、プロテクタしゃ断器は下段に収納している。これは、プロテクタしゃ断器が最も重量があって、かつ詳細な点検を必要とするので、極力床面近くに設置するのが望ましいこと、および常時充電されているネットワーク線側に、しゃ断器の固定極が接続されるのが安全上望ましいこと、この二点を考慮したものである。3.1節にも記したように、スポットネットワーク方式は無停電電源を負荷近く、変圧器二次側に確保する方式であり、ネットワーク母線が常時充電されることになるからこの配慮が必要なのである。

(2) プロテクタしゃ断器を接続・試験・断路のいずれの位置に置いてもとびらを締めることができ、かつ、しゃ断器がどの位置にあるかを、とびらを締めたまま容易に確認できる。

(3) ヒューズ台車 (プロテクタヒューズ、テイクオフヒューズ) を、接続位置・断路位置のいずれに置いても、とびらを締めることができる。ヒューズ台車の接続または断路位置の表示は、監視盤で行なえるよう考慮している。なお、キュービクルの中段、および上段には、ヒューズ台車を断路位置に置いたとき、誤って落とすことのないよう、ストップが取り付けられている。

(4) つぎに記す各種のインタロック装置を装備し、操作時の安全を確保している。

(a) 一次断路器操作中は、プロテクタしゃ断器の投入は、自動手動ともにできない。

(b) プロテクタ しゃ断器が開放しなければ、一次断路器の操作はできない。

(c) プロテクタ しゃ断器が開放しなければ、キュービクル のとびらは開放できない。

(d) キュービクル のとびらを締めなければ、プロテクタ しゃ断器は閉路できない。

(e) プロテクタ しゃ断器を閉路したまま キュービクル にそう入したり、あるいは キュービクル から引き出したりできない。

(f) プロテクタ しゃ断器が開放しなければ、プロテクタヒューズ 台車をそう入したり、引き出したりできない。

(g) テイクオフヒューズ より負荷側の フィーダ しゃ断器が開放しなければ、テイクオフヒューズ の着・脱はできない。

(h) テイクオフヒューズ 室のとびらを開放しているときは、フィーダ しゃ断器は投入できない。

### 3.6 バスダクト

ネットワーク 変圧器と プロテクタユニット 間の連絡は、大容量となるため バスダクト で行なう必要がある。この バスダクト は高信頼性・高短絡強度を要求されることから、スポットネットワーク 受電設備技術指針でも推奨しているように、絶縁 バスダクト が最適といえる。

世界貿易 センタービル には新方式の絶縁 バスダクト を適用したが、その概要と特長について簡単に述べる。

#### 3.6.1 バスダクトの配置および構造

この スポットネットワーク における変圧器盤と プロテクタ 盤間の絶縁 バスダクト の配置は 図 3.2 に示す。バスダクト 内での相変更は短絡強度上 弱点部を作ることになるので避ける。そのため盤の向き、相配列順に注意する必要がある。

バスダクト の仕様は、三相 4 線、AC 600 V 2,000 A、銅母線、鋼板ダクト である。断面構造は 図 3.11 による。

#### 3.6.2 特長

バスダクト 内での事故は、変圧器および特高電源側へ影響をおよぼすため、絶対の信頼性を要求される。そのためには絶縁 バスダクト の使用が不可欠である。

短絡事故を起さぬようとくにその絶縁方式には万全を期している。また大きな短絡強度を要求されることから次のようないくつかの事項に留意して製作されている。

(1) 絶縁される各母線は、おうとつ・突起のないよう加工され、全面に表面処理（銅母線のとき、すずめっき、アルミ母線はカドミウムめっき）を施している。

(2) 絶縁のため E 種相当の ポリエチルフィルム（ダイヤフィルム）により被覆する。安全度を増すため薄葉のフィルムを 3 重巻きしている。

(3) 各相の母線はそれぞれ単独に絶縁したあと、放熱・短絡強度の面から相互に密着配置させる。

(4) 両側の ハウジング との間も別に厚手のフィルムを介し密着させる。母線同志が密着しているので、短絡時の母線間の吸引力に対しては問題ないが、強大な反発力にも十分耐えるように母線を中心に、サンドイッチ 状に ハウジング ではさみ込んで ボルト で締めつけている。

以上のように高性能の絶縁被覆を使用しており、また常時通電電流を 70 % 程度におさえていることから、絶縁 バスダクト の推定寿命は 50 年以上と考えられる。

バスダクト の布設は、従来形のように各母線ごとに数本の ボルト で締めつける方式ではなく、いわゆる プラグイン 式接続である。この方式では異相母線間に ポリエチル 成形品 スペーサ を介し、大形ベルビル 座金を

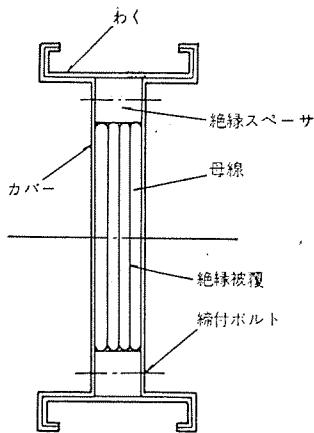


図 3.11 バスダクト断面  
Cross section of bus-duct.

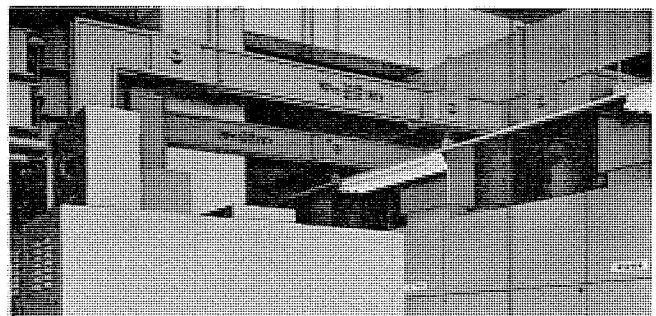


図 3.12 世界貿易センタービルのスポットネットワーク用  
低圧絶縁バスダクト  
Low voltage bus-duct with insulated conductors for  
spot network system of World Trade Center bldg.

表 3.1 状態および故障表示項目  
Items of position indication and fault indication of  
spot network system.

表示の種別	機 器	表 示 項 目
状態表示	特高 キュービクル	一次断路器の開・閉 変圧器冷却ファンの運転
	ネットワークプロテクタ およびテイクオフ装置	プロテクタ しゃ断器の開・閉 プロテクタヒューズの接・断 テイクオフヒューズの接・断
故障表示	特高 キュービクル	変圧器冷却ファン自動停止 変圧器温度上界
	ネットワークプロテクタ およびテイクオフ装置	変圧器過負荷（電流） ネットワークリレー逆電流しゃ断動作 コンデンサトリップ・電源電圧低下 プロテクタヒューズ溶断 テイクオフヒューズ溶断

ハウジング 両側に使用して、1 本の高張力 ボルト で締めつけることにより母線接続は完了するので、工事に要する時間は大幅に短縮され 安全度も高い。母線接続 ボルト はゆるみ防止機構付となっている。この ボルト は充電部から絶縁されているので、通電中でもゆるみの有無を点検することができる。

#### 3.7 状態・故障表示

この スポットネットワーク 受電設備における、各機器の状態および故障の表示は、超高層ビル 付属の中層ビル にある中央制御室の監視盤により、表 3.1 に示す項目について行なっている。

### 4. スポットネットワーク方式の新しい形式

スポットネットワーク 方式の単線接続図は、すでに 説明した 図 2.1 のものが標準であり、日本電設工業協会発行の「スポットネットワーク」受

電設備技術指針<sup>(6)</sup>で推奨されてきた。しかし、東京電力では、図4.1に示す形式のスポットネットワーク方式を、今後の標準とする旨、最近決定された。この形式の主眼点は、図2.1に示す従来の形式では変圧器とプロテクタシャン断器間の短絡事故に対する、事故回線のプロテクタヒューズと、電源変電所のフィーダシャン断器をしゃ断していたのを改め、変圧器二次側の事故はすべてプロテクタヒューズにより除去することに置かれている。このため、プロテクタヒューズはプロテクタユニットに収納せず、ネットワーク変圧器に極力近づけて設置することが必要となる。

従来形式と新形式とでは、変圧器二次側事故に対する保護の面でつぎのような差がある。すなわち、従来形式では、第1段動作機器は、事故回線のプロテクタヒューズと変電所のフィーダシャン断器であり、正常に動作すれば事故回線のみ停止し、受電設備は全停に至らない。ただし、第2段動作機器は、プロテクタヒューズに対しては健全回線の

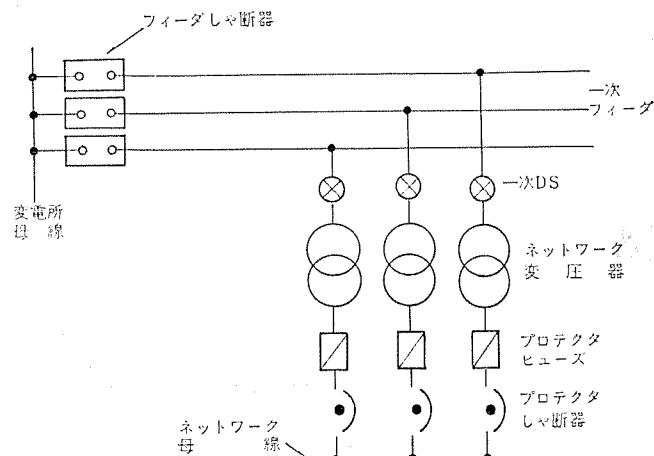


図 4.1 スポットネットワークの今後の形式  
Other arrangement of spot network system.

プロテクタヒューズがあるが、変電所フィーダシャン断器に対しては何もない。一方、新形式では、第1段動作機器は事故回線および健全回線のプロテクタヒューズであり、これが動作すれば受電設備は全停する。第2段動作機器は各回線の変電所フィーダシャン断器であるが、万一第1段動作が不調ですべてのフィーダシャン断器が動作すれば、スポットネットワーク系統は完全に停止してしまうことになるので、バスタクト、低圧キュービクルおよびプロテクタヒューズの信頼度の高いことがいっそう要求される。

## 5. む す び

以上、スポットネットワーク方式の基本事項を概説したあと、世界貿易センタービルに納入した当社のスポットネットワーク受電設備について多少詳しく説明した。

スポットネットワーク方式のもつ利点が認識され、超高層ビル、あるいは大規模ビルへの導入も数多く計画されており、今後大いに実施されるようになると考えられる。スポットネットワーク方式の利点が生かされるためには、受電設備の計画者、電力会社、ならびに機器製造者の協力が必要であり、当社ではこの要求にこたえよう、今後も技術開発などの努力を続けていく決意である。

この小論文が、スポットネットワーク受電設備の理解と計画の参考になれば幸いである。

## 参 考 文 献

- (1) 森：三菱電機技報, 40, No. 5, 803 (昭41)
- (2) 森ほか：三菱電機技報, 41, No. 11, 1,354 (昭42)
- (3) 森ほか：昭43電気四学会連合大会, No. 924
- (4) 梅本：図説電気, 11, No. 3, 111 (昭45)
- (5) 田和、福田：三菱電機技報, 41, No. 1,365 (昭42)
- (6) 日本電設工業会：スポットネットワーク受電設備技術指針 (昭43)

# 過密都市 架空配電用機器の技術開発

青木 清\*・井上 俊輔\*・宇佐見重夫\*\*  
魚住 幸男\*\*\*・勝田 久登+・庄司 忠一+・岡田 正歩+

## Development of Modernistic Apparatus for Overhead Power Distribution in Overcrowded Cities

Dainichi-Nippon Cables Ltd. Kiyoshi AOKI・Syunsuke INOUE

Mitsubishi Electric Corp., Head Office Shigeo USAMI

Mitsubishi Electric Corp., Nagoya Works Yukio UOZUMI

Mitsubishi Electric Corp., Kobe Works Hisato KATSUTA・Chuichi SHOJI・Masayuki OKADA

From the standpoint of harmony among safety, reliability, labor saving and environment, the present state of 6 kV overhead power distribution in overcrowded cities is reviewed collectively and apparatus for modernization have been developed by looking ahead 10~15 years future. They are 300 A manually operated pole switches each phase of which is provided with an epoxy molded vacuum switch valve, V connected 3 phase 4 wire system pole transformers having a capacity of 50+125 kVA at the maximum and vacuum breakers and arresters self-contained in them, and dividing boxes which both dividing units and fuse units with each of the phases insulated with rubber molding are connected by a plug-in method each other. They are all successfully developed as single units respectively; protection coordination is fully achieved among each of the devices.

### 1. 技術開発の全容

#### 1.1 まえがき

経済社会の安定とともに都市の再開発が叫ばれる昨今、都市部の環境整備の進展につれ、架空線を主体に発展してきた配電設備について都市環境との調和への関心がたかまり、東京電力(株)では、10~15年後の架空配電のあるべき姿を想定して現状を見直す必要があるとして、すでに数年前から国内メーカーと共同研究が進められている。今回ここに発表する技術開発は、6 kV 過密都市架空配電改善のプロジェクトにより、昨年4月から東京電力(株)のご指導のもとに、三菱電機が大日日本電線(株)とともに共同研究したものの成果であり、既設のコンクリート柱を活用する総合的な装柱改善、ならびに工具・工法の開発に関するものである。

#### 1.2 装柱改善の必要性とねらい

従来の装柱方式によれば、たとえば柱上変圧器は台に載せ、同一柱に高圧カットアウト・避雷器・低圧開閉器などの変圧器付属器具を別々に設置する方式(図3.1(a)参照)であり、塩・じん害などの外的影響を受けやすく、また装柱機器・配線の混雑により作業性も外観もよくないので、抜本的な新方式による改善が必要とされた。

装柱の改善は単に上記の柱上変圧器まわりのみにとどまらず、高圧線の建築物からの離隔、がいし使用個数の低減、柱上開閉器のオイルレス化および低圧引込線の集合化のほか、街路灯・電話線の共架など、配電用変電所から需要家の屋側までのすべての配電について、良質の電力を長期にわたって効率的かつ安定的に確保することを前提に、安全性・信頼性・省力化ならびに環境との調和の四つに力点をおいて検討された結果、次のような改善の基本策が考えられた。

(1) 主要道路における装柱形式は、上部から高圧線・変圧器・低圧線の順序とする。

(2) 高圧線は縦形配列(または架空ケーブル)とし、低圧線は一体化した多心電線を使用する。

(3) 柱上変圧器は開閉器・避雷器を内蔵した細長形で高・低圧リード線付きとし、変台不要の本柱じか付けとする。

(4) 柱上開閉器は油なし防爆構造とする。

(5) 引込線は極力集合化し、道路横断部は地中化する。

(6) 変圧器・開閉器・引込み箱の、外部電線・ケーブルとの接続は、活線作業が安全で容易な構造とする。

(7) 機器の開発にマッチした工具・工法を開発し、いっそうの安全性・省力化ならびにサービスの向上を期する。

#### 1.3 開発機器の共通的特長

今回の共同研究による技術開発では、前節の改善の基本策に沿った具体案の討議・検討を総合的改善の見地から十二分に重ねたうえ各機器を試作し、最大限度の実証試験を実施した結果、頭初志向した改善の四つの柱、すなわち安全性・信頼性・省力化ならびに環境との調和の各力点事項を、単体でも総合でも満足するものが開発された。

これらについては次章以後で詳述するが、開発機器に共通な特長をあえて列挙すれば次のとおりである。

(1) 故障が発生しても飛散物や発火などによって一般公衆に被害を与えることなく、また充電部を露出しないので“安全性”が高い。

(2) 各機器間に十分な保護協調がとられており、メーカー組立の付属器具内蔵形であるので“信頼性”が高い。

(3) 適切な工具・工法の開発とあいまって、柱上作業は主として本柱への取り付けと接続線の着脱に限られ“省力化”できる。

(4) 小形・軽量・簡素化により機能美に満ちており“環境との調和”もよい。

#### 1.4 今後の課題

地中配電は架空配電に比べ設備費が約10倍かかるといわれてお

り、非恒久的建築物が多く需要変動の大きいわが国の過密都市では、架空配電が今後も主流として存続するものと考えられ、それぞれの地域の実態に合った近代化が促進されると期待される。

今回開発した過密都市架空配電用機器は、近代化・装柱改善の目標を一応達成できたと考えるが、実用化への適合性ならびに経済性については、さらに努力を続ける必要がある。

技術開発の全容をむすぶにあたり、今回の共同研究に終始ご指導いただいた東京電力(株)の関係各位に対し、深甚なる謝意を表するものである。

## 2. 柱上開閉器

### 2.1 概要

開閉器のしゃ断媒質としては、これまで、大気・大気中におけるアーケの磁気駆動・圧縮空気・水・油・固体ガスなどが考えられ使用されてきたが、最近における技術の進歩は、これらに半導体・SF<sub>6</sub>ガス・真空などを付加することに成功している。

今回の装柱近代化用柱上開閉器は1.2節で述べたように、油なし防爆構造を改善の基本策としており、前記のしゃ断媒質の多くはこの基本仕様を満足させる可能性をもっているが、電流・電圧などの電気的諸性能、開閉ひんばん度など柱上開閉器の個有仕様に加え、装柱改善の共通的力点とされた一般公衆への安全性、経年劣化のない信頼性、装柱・保守の省力化、および小形・簡素化による環境との調和、さらには高圧線の縦横配列への適合性、工場での生産性など、およそ考えられるあらゆる事項について慎重に検討した結果、少なくとも6kV架空配電用柱上開閉器には、開閉部に真空スイッチ管を使用し、これをエポキシモールド絶縁体に全面的に埋没させる方式が、総合的に最善であると判断された。

すなわち、真空スイッチ管は本質的に、アーケ発生部分が金属のみで構成され、油なしと、保守からの解放による省力化を満足させるとともに、エポキシモールドの活用により比較的容易に信頼性のある防爆構造が得られ、また単極ユニット式の構成とすることにより、比較的自由な三相配置が得られるなどが、おもな根拠である。

以上の結論に基づき、適切な性能をもつ柱上開閉器専用の真空スイッチ管と、これのじか埋めに適したエポキシモールド絶縁体を先行して開発を進め、完成品については各種の試験により予期以上の高性能を確認したので、以下、項を改めて詳述する。

### 2.2 専用の真空スイッチ管

今回使用した柱上開閉器専用のVS-6S4B形真空スイッチ管の断面構造を図2.1に示す。

消弧室に相当する部分は非磁性のステンレス鋼管で構成しており、見かけの大きさのわりに実質的に大きな消弧室としての空間を得ており、機械的にもきわめてじょうぶである。両端子間絶縁物は可能なかぎり小径の特殊磁器で構成されており、この部分でエポキシモールド絶縁体に密着・埋蔵させている。

真空容器内の気圧は、新しい状態で10<sup>-6</sup>mmHgよりも低く維持され、10<sup>-4</sup>mmHg(最悪状態)でも内部電界を適切に分散・緩和させる諸要素配置により、十分実用的に信頼性のある耐電圧諸性能を与えることに成功している。

### 2.3 柱上開閉器の定格

柱上開閉器の定格事項は次のとおりである。なお外観は図2.2に示すように、従来の柱上開閉器のイメージを一新する画期的なもので、外形寸法は幅248×奥行235×高さ645(mm)、重量は90kgで

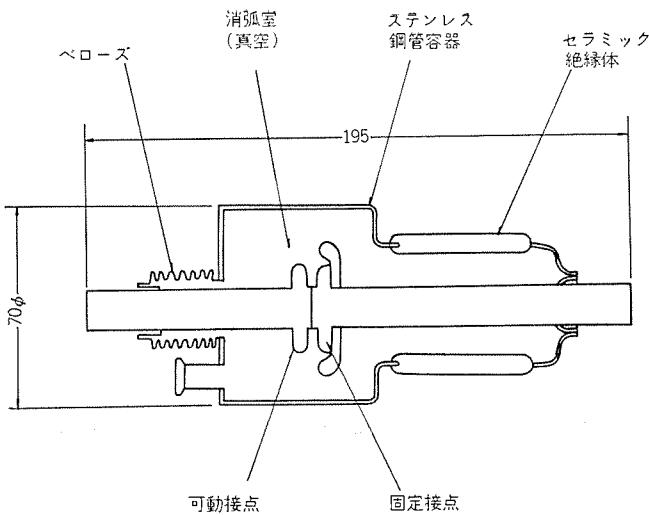


図2.1 真空スイッチ管 VS-6S4B形の内部構造  
Construction of vacuum switch valves type VS-6S4B.

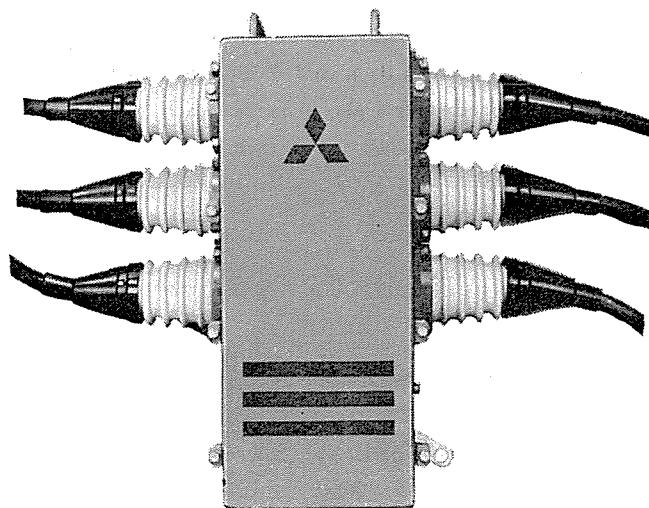


図2.2 柱上開閉器 Pole switches.

ある。

定格電圧	6.9 kV
定格電流	300 A
定格投入電流	32.8 kA(瞬時最大値)
定格短時間電流	13.1 kA(実効値) 1秒
定格周波数	50(60)Hz
絶縁階級	6号A相当(ただし、同相傾間AC 35kV 1分、インパルス 85kV)
操作方式	手動

### 2.4 構造と特長

柱上開閉器の内部構造を図2.3に示し、以下その特長を述べる。

#### (1) 縦配線に適する

真空スイッチ管を主体にした主回路部をエポキシ樹脂により一體にモールドして、単極開閉器ごとのユニット化を図り、各単極開閉器ユニット③を縦配線でケース①に取り付け、下部に手動操作ハンドル⑩によるトルク機構⑥を配し、このトルク機構部からの操作力を、各極を連結している連結棒⑦、接触圧ばね⑨、方向変換リンク⑧を介して各極真空スイッチ管可動接点に伝達している。以上のような主回路および機構の構成とすることで縦配線に適した構造となっている。

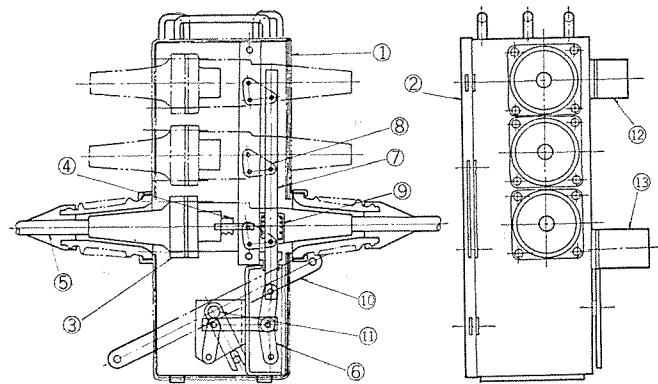


図 2.3 柱上開閉器の内部構造  
Construction of pole switches.

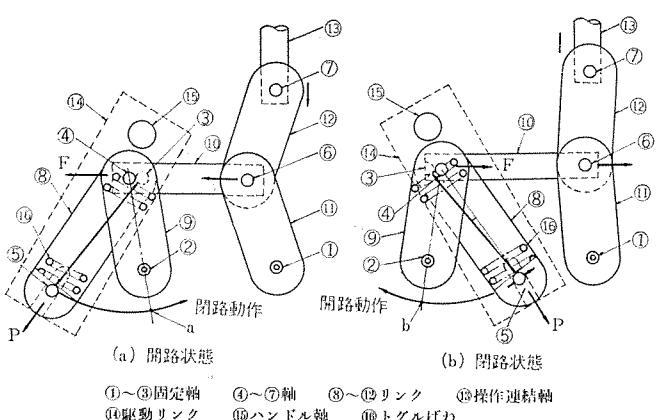


図 2.4 操作機構  
Operating mechanism.

## (2) 高圧充電部は露出しない

真空スイッチ管を含む高圧充電部の各単極開閉器ユニットごとに、耐トラッキング性のすぐれたエポキシ樹脂中に全面じか埋めモールドし、高圧充電部が露出しない構造となっている。したがって仮りに、一相地絡事故が発生しても、他相の高圧充電部に直接イオン化された導電性のガスが触れないため、相間短絡事故への移行が防がれ、また開閉器内部の水分による汚損に対してもなんら絶縁性能の劣化を生ずることがない。このようにモールド構造とすることで、開閉器内部の絶縁強度は信頼性の高いものになっている。

また以上の結果として、開閉器の相間距離および対アース間距離を縮小し、開閉器全体をコンパクトに収納することができた。

高圧充電部のモールド化は上記の利点とともに、型製作によるエポキシ樹脂モールドであるため製品の均一化ができる、その結果、組立精度の向上、品質の安定化といった利点もえられている。

## (3) 主回路は圧縮接合

主回路導電部は極力、締付接触部をやめて圧縮接合方式を採用し、モールド内部での温度上昇をおさえて、大電流通電による接合部の信頼性向上を図っている。

## (4) 防爆性ケース

万一、開閉器内部で相間短絡という最悪事態が発生し、開閉器内部が発生アーカにより高温高圧ガスで充满しても開閉器の飛散に至ることなく、ケースの変形によるガス放出で済むような防爆性のケース構造となっている。

## (5) 常開ばねの使用

真空スイッチ管の可動電極端子部に常開ばねがそう入されており、万一、操作機構部が破損しても、真空スイッチ管は自動的に開極される安全な構造になっている。

## (6) トグル操作機構の採用

トグル機構を採用しているため、開閉操作は操作ハンドルの回転速度に左右されず、常に一定の速度で開閉が行なわれる。また二重トグル機構により、真空スイッチ管の接点が溶着した場合にも、操作ハンドルは空転することなく誤表示のおそれのない構造である。図2.4に操作機構を示す。

## 2.5 性能試験

開閉器としての一般的な性能確認のほか、特に絶縁破壊に対する十分な安全性の検証を実施したが、以下その主要項目について記載する。

### 2.5.1 温度上昇試験

エポキシ樹脂はB種絶縁物で最高許容温度は130°C (JEC-147)であるが、高温時には機械的強度が下がり、また熱劣化が促進されるため使用最高温度としては80°Cであり、周囲温度40°Cとすると定格電流連続通電では40deg以下とする必要がある。また主回路導電部が全周放熱係数の小さいエポキシ樹脂でモールドされているため温度上昇が問題であり、設計上の注意が必要である。

(1) モールド内部での電力損失を極力小さくする。この開閉器では単極で10W程度であった。

(2) エポキシ樹脂を通しての放熱効果が悪いため、主回路リード線を通して外部へ放熱が可能な構造とする。端子部分では圧縮接合により局部加熱しないようにし、外部リード線に熱が伝導しやすいようにしている。

温度上昇試験の結果、真空スイッチ管の両端子部分が最高温度上昇部で30deg以下であり、また外部リード線への影響範囲は0.5m程度で問題なく、定格温度上昇値40degに対してかなりの余裕があり、屋外の過酷な使用条件に対しても十分耐えられるものである。

### 2.5.2 開閉能力試験

#### (1) 無負荷開閉試験

無負荷開閉を10,000回実施し、電気的・機械的に実用上問題のな

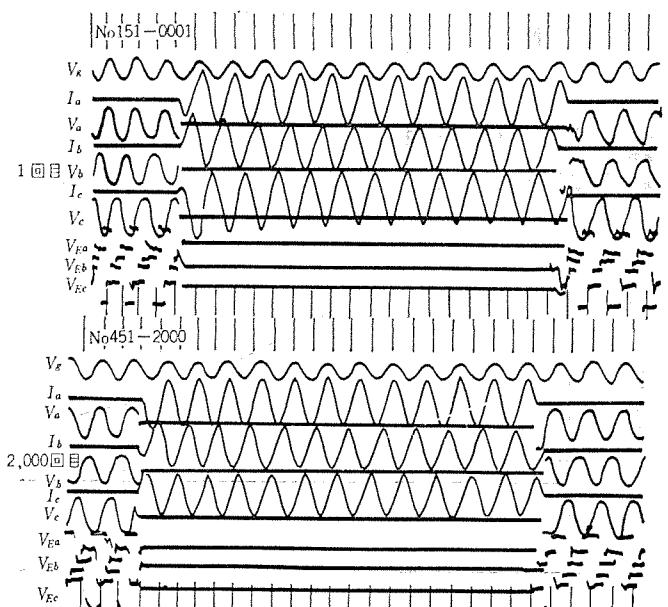


図 2.5 負荷開閉試験のオシログラム  
Oscillogram of load current closing and opening test.

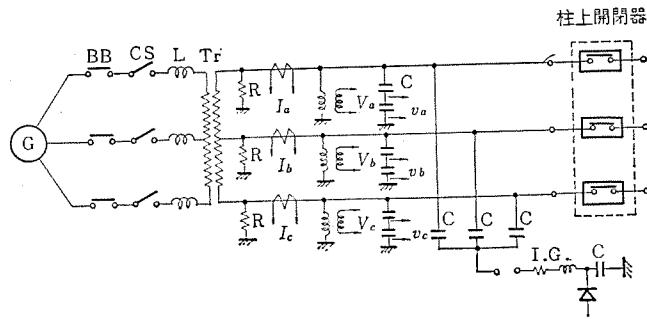


図 2.6 AC Imp 重畠試験回路  
Test circuit of AC and Imp superposition.

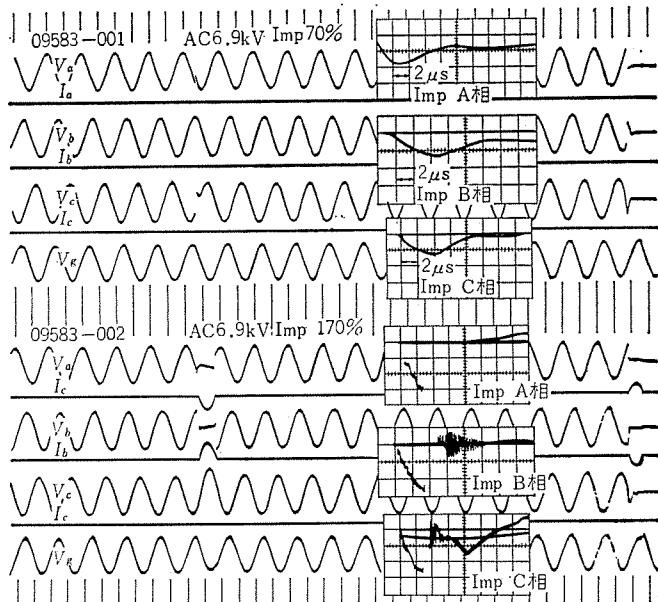


図 2.7 AC Imp 重畠試験のオシログラム  
Oscillogram of AC and Imp superposition test.

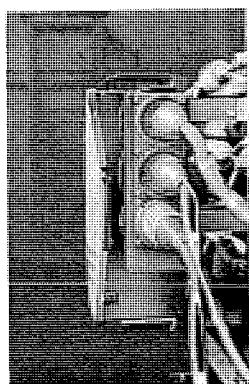


図 2.8 AC Imp 重畠破壊試験後の柱上開閉器  
Destroyed pole switches after AC and Imp superposition test.

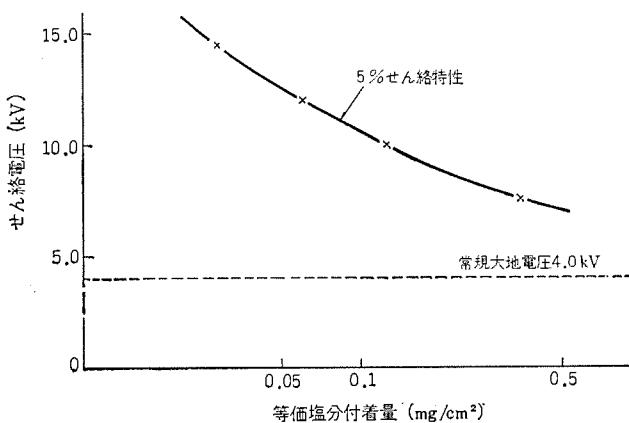


図 2.9 がい管せん絡電圧特性  
Flushover voltage characteristics of bushing.

い性能が得られた。

#### (2) 負荷開閉試験

定格負荷開閉を2,000回実施し、実用上問題のない開閉性能が得られた。図2.5に負荷開閉1回目(上段)と、2,000回目(下段)の開閉オシログラムを示す。

#### (3) 短時間電流試験

短絡電流13.1kA(実効値)を1秒間通電したが、電気的・機械的になんら異常を生ずることなく、試験後の温度上昇も問題なかった。

#### (4) 投入電流試験

開閉器を6.9kV、短絡容量150MVAの電源に接続し、電流32.8kAを3回投入したが、同様になんら異常なかった。以後短絡容量を漸次増大させ、投入電流最大60kAまで実施したが溶着などの不具合はなく投入を完了した。しかしながら極間耐圧は若干の低下が認められた。

#### 2.5.3 AC Impulse (Imp) 重畠破壊試験

この試験は開閉器に保護用の避雷器を設けないで使用した場合、侵入サージに対し開閉器が安全であるかどうかを検証するために行なう実使用状態を模擬した破壊試験である。実際の試験は次のように破壊現象を二段階に分け、第一段階でImpせん絡箇所にきずを付け、第二段階で破壊状況を見るやり方で行なった。

#### (1) AC Imp 重畠試験

柱上開閉器にAC三相6.9kV2kAを通電し、これに三相のImpを印加してせん絡個所とその状況を見た。ImpはC結合で三相一括同時印加とし、印加位相はV相対地電圧波高値に逆極性に、衝撃電圧は $Bil \times 1.7 = 110$ kVを印加した。試験回路を図2.6に示す。

#### (2) AC 破壊試験

AC Imp 重畠試験でせん絡した試料を短絡容量が三相6.9kV150MVA相当の電源で0.2s通電し、開閉器の破壊状況を見た。

以上一連の試験の結果、開閉器内部で2相接地事故に移行し、発生アーカにより開閉器内圧が上昇したが、開閉器のふたの変形のみにとどまり開閉器部品の飛散はなく、また1分後の再送電を想定して再びAC通電を行なったが、損傷の進展はほとんどみられず、最悪事態においても実用上高度の安全性が確保されることが検証された。図2.7にAC Imp 重畠試験のオシログラム、図2.8に試験後の開閉器の破損状況を示す。

#### 2.5.4 耐汚損性能試験

##### (1) 外部耐汚損試験

外部磁器ブッシング(水平方向使用)に対し等価霧中法に準じ汚損試験を実施した結果、 $0.06\text{ mg/cm}^2$ の等価塩分汚損度に対し5%せん絡電圧10kVで実用上問題点のないことが確かめられた。図2.9にその結果を示す。

##### (2) 内部耐汚損試験

開閉器内部への水分侵入による汚損を想定し、同様に等価霧中法により耐汚損試験を実施したが、 $0.12\text{ mg/cm}^2$ の汚損に対しても十分定格耐圧を維持することが検証され、開閉器の内部を高圧充電部非露出構造とすることにより、内部水分汚損による絶縁性能の劣化が実用上起り得ないことが確かめられた。またアースに対し流れく漏えい電流は数百 $\mu\text{A}$ 程度であり、エポキシモールドの耐トラッキング性からして全く問題のない値である。

### 3. 柱上変圧器

#### 3.1 概要

従来、当社では近代化装柱の考え方方に近い配電用変圧器として、CSP形をシリーズ化しており、おもに海外向けに多数の納入実績を有しているが、今回、このCSP形変圧器を配電近代化に適するよう改良したものと、新しく変圧器付属器具に必要な機能を集約した高圧真空しゃ断器を内蔵したものの、2種類の近代化柱上変圧器を製作した。ここではおもに高圧真空しゃ断器内蔵近代化柱上変圧器について述べる。

近代化柱上変圧器の装柱は、高・低圧配電線の中間に設置する方式を基本形としており、高圧側は縦配置されたスリップオン形LPがいし[東京電力(株)との共同研究により日本碍子(株)が開発]を介して高圧線と接続し、低圧側は4章に述べる引込み岐箱を介して低圧幹線と接続する構成となっている。

#### 3.2 変圧器付属器具の所要機能

変圧器に付属する保護器具類には、負荷電流の開閉、変圧器の内部事故保護、二次側の短絡保護などの機能が要求されるが、従来の柱上変圧器と付属器具類、および今回製作した近代化柱上変圧器による所要機能の分担要領を図3.1および表3.1に示す。この図・表から明らかとなおり、近代化柱上変圧器は、必要な機能を満足させており、特に図3.1(c)、表3.1(c)の高圧真空しゃ断器内蔵方式は、他の方式が複数の器具で分担している機能を高圧真空しゃ断器1個に集約でき、機能的にすぐれている。

#### 3.3 特長と仕様

##### 3.3.1 特長

柱上変圧器は、現在、一般に50kVA以下の容量が主流として使

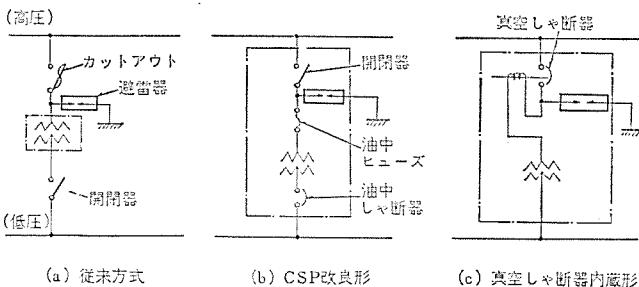


図3.1 従来形(a)と近代化(b), (c)柱上変圧器の単線結線図比較

Comparison of skeleton diagrams between conventional (a) & modernized (b & c) pole transformers.

表3.1 柱上変圧器保護器具の機能比較  
Comparison of function of protective devices for pole transformers.

所要機能	所要機能に対応する保護器具		
	従来形(a)	CSP改良形(b)	真空しゃ断器内蔵形(c)
変圧器内部事故保護	カットアウトヒューズ	高圧油中ヒューズ	真空しゃ断器
低圧線短絡保護	カットアウトヒューズ (保護不能範囲あり)	低圧油中しゃ断器	真空しゃ断器
高圧配電線からの切離し	カットアウト	高圧開閉器	真空しゃ断器
負荷開閉	カットアウトまたは低圧開閉器	高圧開閉器または低圧油中しゃ断器	真空しゃ断器
低圧回路(逆助磁電流)の開閉	低圧開閉器	低圧油中しゃ断器	低圧分岐箱のプラグイン接続部

われているが、近代化用柱上変圧器は電灯・動力がともに供給できる異容量V結線とし、合計容量175kVAまで容量アップできるものとしている。

装柱現場での省力化と機器の信頼性を高めるため、高圧真空しゃ断器と避雷器を変圧器と同一タンク内に密封しており、現場では高・低圧引下線のプラグイン接続のみ行なえばよく、機器自体も外的影響を受けることが少なく、工場での品質をそのまま保つことができるものとなっている。

付属器具が内蔵されたことにより、変圧器周辺が簡素化されて外観の改良に役立っているが、さらにタンクの細形化やブッシングなどにも意を払い、都市環境との調和を図るように留意している。

#### 3.3.2 仕様

小形軽量とするため、耐熱絶縁紙(商品名、HI-L絶縁紙)を使用して65deg rise変圧器とし、特性は一般的の柱上変圧器と同等以上、内蔵避雷器は配電用と同性能品としている。変圧器と内蔵器具のおもな仕様は次のとおりである。

##### (1) 変圧器

形式	異容量V結線三相4線、油入自冷式、密封形
定格一次電圧	6,600V
定格二次電圧	三相 210V、単相 105/210V
定格周波数	50Hz
定格容量(動力専用相+灯動共用相)	10+40kVA, 25+75kVA, 50+125kVA

温度上昇	油……60deg以下、巻線……65deg以下
絶縁階級	6号A

##### (2) 内蔵真空しゃ断器

定格電圧	6,900V
定格電流	30A
定格しゃ断電流	1,500A
定格投入電流	5,000A (crest)
負荷開閉能力	30A×100回, 60A×50回, 180A×10回 (pf=0.7~0.8 lag)
絶縁階級	6号A

引きはずし動作特性 定格電流の150%で動作せず、所定長さの低圧線短絡を保護できる

#### 3.4 構造

##### 3.4.1 一般構造

変圧器身および内蔵器具類を細長の円筒タンクに収納したカバーモル接密封構造とし、変圧器をできるだけ電柱に接近して装柱できるように、ハンガ電柱じか付け構造とし、低圧ブッシングを電柱側のタンク側面に、高圧端子を上面に配置して、高・低圧引下線とも電柱に沿って引き下げる構造である。

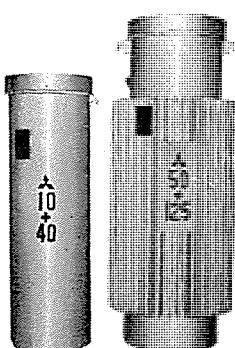


図3.2 近代化柱上変圧器  
Modernized pole transformers.

タンク内部は専用相、共用相の各単相変圧器を上下に積み重ね、その上部の放熱上必要な油中空間を利用して真空しゃ断器を取り付け、さらに油面上の気体スペース内に避雷器を取り付け、タンク内部のデッドスペースを有効に活用して寸法の縮小を図っている。近代化柱上変圧器の外観を図3.2に示す。

### 3.4.2 変圧器中身

タンクの径は共用相変圧器の大きさにより決定されるため、共用相は円筒タンクに適した外鉄形構造とし、特に大容量器では小形軽量化および短絡機械力を強化するうえで有利な、シート巻線を低圧コイルに採用している。なおHI-L絶縁紙の採用により温度上昇限度が10degアップした分は、小形軽量化に振り向いている。

### 3.4.3 タンク

変圧器の形状・外観は、個人的主観により一概にどの形状がよいとはいえないが、変圧器タンクとして必要な機能を備え、極力簡素化したもので量産にも適するよう、できるだけ径を細くした円筒タンクとし、容量が大きく放熱面積が不足する機種については、円筒タンクの周囲に波状の放熱器を付加して必要な放熱面積を確保している。また変圧器内部で事故が発生した場合の安全性を考慮して、放圧装置と協調のとれたタンク強度としている。

### 3.4.4 放圧装置

変圧器タンクの内部で事故が発生した場合に、噴出する油および火炎の量が少なくて、しかも、有効に放圧させるためね復帰式放圧弁とし、火炎・油の噴出を妨害する障壁筒をタンク内部と放圧弁の間に設けた構造としている。

### 3.4.5 高圧・低圧引下ケーブル

高圧引下ケーブルは、縦に配置された電柱上部のスリップオン形LPがいしを介して高圧線と接続する。高圧線の各相の負荷を平均化するため、高圧引下線は任意のLPがいしに接続できるよう、長さの調整が可能な構造としている。なお高圧・低圧引下ケーブルおよびその端末については4.2節で詳述する。

### 3.4.6 避雷器

三相分の避雷器要素を一体のエポキシ樹脂製容器に収納、密封したコンパクトな三相一括形で、避雷膜を設けて防爆形にしている。また、タンクその他の接地部分に近接して配置しても、特定箇所へ電界が集中して避雷器の特性が変化しないように考慮されているなど、変圧器内蔵に適した構造となっている。なお詳細については、本号の特集論文“最近の配電用避雷器”を参照願いたい。

### 3.4.7 真空しゃ断器

今回の真空しゃ断器は、変圧器内蔵用として新たに製作した超小形の真空スイッチ管を、引きはずレコイルおよび機構部とともにコンパクトに組み立てたものである。

引きはずレコイルは変圧器高圧コイルと直列に接続し、変圧器内部事故または低圧側短絡事故時の事故電流を検出して動作するとともに、二次側の通常の過負荷、始動電流および変圧器励磁突入電流では誤動作しない特性を持たせている。

タンク外部の手動操作ハンドルは、しゃ断動作表示形であるとともにトリップフリー機構としている。また万一、機構部が破損した場合には真空スイッチが強制断路するように、常開ばねを備えた構造としている。

変圧器絶縁油は空気比で数倍の絶縁耐力を有しており、油中で使用する今回の真空しゃ断器は相当に絶縁が強化されているが、さらに安全性を高めるため各相を独立した絶縁容器に収め、万一、絶

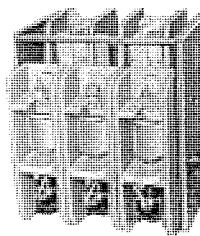


図3.3 変圧器内蔵用真空しゃ断器  
Vacuum breakers for transformers.

縁が劣化しても地絡事故にとどめ、異相短絡には進展しないように配慮している。柱上変圧器内蔵真空しゃ断器の外観を図3.3に示す。

### 3.5 変圧器と低圧幹線の保護協調

#### 3.5.1 変圧器内部事故に対する保護協調

変圧器内部の事故は千差万別であるが、保護協調上の問題としては次の二つに分けて考えることができる。

##### (1) コイル内部の事故

高圧または低圧コイルに生じる層間短絡を想定した場合の短絡事故電流は、変圧器定格電流の15~30倍程度であり、内蔵しゃ断器で十分しゃ断できる電流範囲にあるため安全である。

##### (2) コイルより電源側の事故

高圧端子からコイルまでの間で異相間短絡が発生した場合には、変圧器から配電用変電所までの高圧線の長さにより、2,500~13,000A程度の短絡電流が流れ、変圧器内部では大きなエネルギーを生じて爆発現象を呈する。事故点が真空しゃ断器の負荷側で、しかも事故電流が比較的小さい場合は、内蔵しゃ断器によりしゃ断可能であるが、内蔵しゃ断器のしゃ断限界を上回る電流が流れる場合には保護が困難である。したがって、このような事故を起さないことが安全上先決であるが、もともと変圧器はその構造上、直接異相間短絡となることはきわめてまれである。ただ今回の近代化柱上変圧器は安全性の見地からこの点に特別の注意を払った設計となっており、万一の事故を想定して種々の試験を実施し、安全性の確認を行なっている。

変圧器内蔵しゃ断器で処理できない事故電流はバックアップしゃ断する必要があるが、これには高圧引下線がヒューズエレメントの役目をはたして電力ヒューズのようなしゃ断性能を有するスリップオン形LPがいしと、配電用変電所のフィーダーしゃ断器が考えられている。

#### 3.5.2 内蔵真空しゃ断器の保護協調

変圧器内蔵しゃ断器は、変圧器二次側低圧線の電柱1~3スパンの間の短絡事故電流では動作するが、通常の過負荷、始動電流および変圧器の励磁突入電流での誤動作は、供給の安定性から許されない。また、低圧線から需要家へ引き込む分歧線に用いられるヒューズとの協調も必要で、これらの相互関係からしゃ断器の特性が定められる。

##### (1) 変圧器の励磁突入電流

最も大きな励磁突入電流は、鉄心の残留磁束の方向が磁束の変化方向と一致し、しかも電圧位相がゼロの位置で変圧器を投入した場合に流れるが、図3.4は、このような条件を人為的に作り、単相125kVA近代化柱上変圧器について測定した励磁突入電流のオシログラムである。

真空しゃ断器のトリップ動作は、引きはずレコイルのプランジャーを電磁力で駆動する構造のため、通電電流の平均値により動作すると考えられるので、図3.4の実測オシログラムをもとに、任意の時間( $t$ )までの一定電流に換算した電流( $I_t$ )を次式により求め、しゃ断器との協調を検討している。

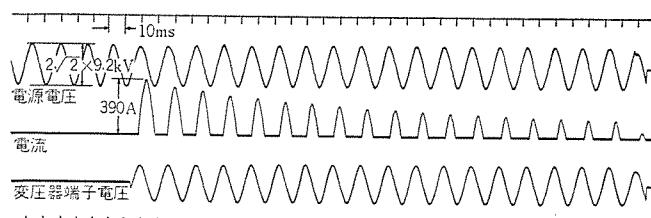


図 3.4 変圧器励磁突入電流のオシログラム  
Oscillogram of magnetizing inrush current.

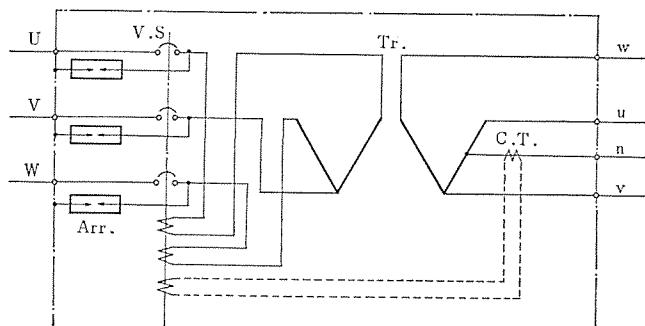


図 3.5 近代化柱上変圧器の結線  
Connection diagram of modernized pole transformers.

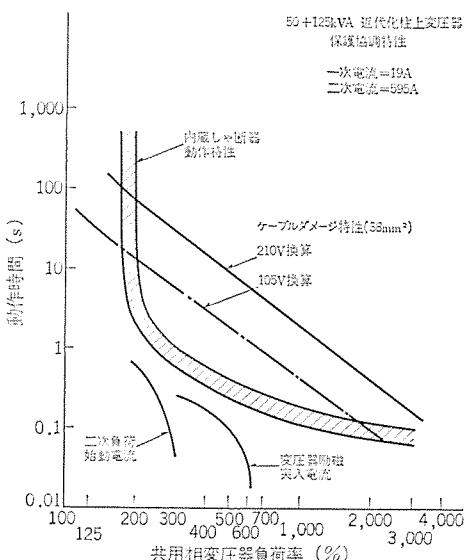


図 3.6 保護協調特性の一例  
An example of co-ordination of system protection

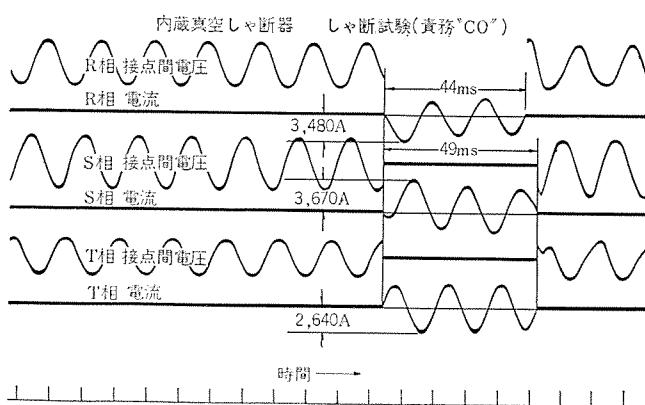


図 3.7 真空しゃ断器のしゃ断試験オシログラム  
Oscillogram of interrupting test of vacuum breakers.

$$I_t = \int_0^t idt/t$$

### (2) 低圧負荷の始動電流

低圧負荷の種類は種々雑多であるが、最近はクーラ・冷蔵庫などモータ応用機器の使用が増加する傾向にある。

真空しゃ断器の動作特性を考えるうえで、これらのモータ負荷をどのように見込むのが妥当か明らかでないが、共用相変圧器容量の50%がモータ負荷で同時に始動し、始動電流は500%，始動時間は2~3秒と考えて検討すれば、実用上の支障はないものとしてしゃ断器特性との協調を検討している。

### (3) 低圧線の短絡電流

短絡による低圧線のダメージを保護する場合、保護範囲の短絡電流に対し、しゃ断器は当然ながら低圧線のダメージ特性より早く動作する必要があるが、保護上の問題は、共用相変圧器のu-n間またはv-n間に短絡が起った場合にある。(図3.5参照)

この場合は一次と二次の巻数比がu-v間に比べ2倍となるため、二次側に定格電流のn倍の短絡電流が流れても、一次側のしゃ断器引きはずしコイルに流れる電流はn/2倍に減少するので、二次側の過負荷耐量および必要な不動作特性と関連して、保護協調をむずかしくしている。しかしながら、変圧器の過負荷耐量を十分に活用するため、しゃ断器の動作セットを低くしない場合には、図3.5の破線で示すようにしゃ断器の引きはずしコイルを1個増し、二次側n相の電流によっても動作させる方法を講ずれば、比較的容易に保護協調特性をよくすることができる。必要に応じ採用すれば有効であろう。

低圧線の短絡電流は電線の温度上昇により時間とともに減少するので、短絡初期電流の85~90%の電流値をもとに保護協調を考える必要があるが、周囲温度、負荷による電線の温度上昇などを考慮に入れて計算した短絡電流の初期値は、各機種とも一次に換算して定格電流のおよそ2.2~40倍の範囲である。

### (4) 保護協調特性

前述した変圧器励磁突入電流、二次負荷始動電流および二次側短絡電流と、変圧器内蔵真空しゃ断器の引きはずし動作特性および低圧線のダメージ特性を記載した保護協調特性の一例を図3.6に示す。この曲線図から明らかなるとおり、真空しゃ断器は保護協調上必要な動作特性を有し、仕様を満足するものとなっている。なお低圧回路の保護協調については4.3節で詳述する。

### 3.6 性能試験

変圧器として必要な一般的な試験はもちろんであるが、特に機器の安全性・信頼性を確認するため数々の検証試験を行なったので、その主要事項を記載する。

#### 3.6.1 真空しゃ断器

##### (1) 寿命試験

6,900 V 30 A 1,000回、および機械的に1,000回の開閉寿命試験を同一供試品について行ない、十分耐えることを確認した。

##### (2) 投入試験

5,000 A (波高値) 0.2秒、3回の投入試験を行なった。試験は避雷器が事故短絡している場合を想定し、避雷器接続端子(図3.5参照)を短絡して試験を行ない良好な結果を得た。

##### (3) しゃ断試験およびしゃ断限界試験

1,500 A O-CO 1回の動作責任試験に加え、2,000 A・2,500 A・3,600 A O 3回のしゃ断限界試験を行ない、いずれもしゃ断可能な

ことを確認した。しゃ断試験のオシログラムの一部を図3.7に示す。

### 3.6.2 変圧器内部事故に対する安全性

#### (1) 変圧器コイルの層間短絡

コイルを人為的に層間短絡して事故電流を測定したが、電流は定格電流の15~30倍で、内蔵しゃ断器により1秒以内に安全にしゃ断することを確認した。

#### (2) 油中部および気中部における高圧三相短絡

近代化柱上変圧器は避雷器を含む保護装置を内蔵しており、機器自体の信頼性が高くなっていると考えられるが、さらに安全性に対する信頼度を確認するため、変圧器内の油中部および気中部にヒューズで短絡した個所を設け、6.9 kV 2,500~13,000 Aの短絡電流を、スリップオン形LPがいしでしゃ断するまでの時間通電し、短絡個所にアーカーを発生させ、放圧装置とタンク強度の協調関係、油および火炎の噴出状況を調査した。

短絡現象は短絡個所および短絡電流と時間などにより異なり一定しないが、タンク内圧が10 kg/cm<sup>2</sup>近くまで上昇する場合も見受けられた。

## 4. 引込分岐箱と電線

### 4.1 引込分岐箱

今回の共同研究において新しく開発が要求された分岐箱は、低圧の複雑な引込線の分岐を整理するため、特に高信頼度化・コンパクト化を図ったもので、種々試作・検討を行なった結果、最終的には各部品をユニット化し、各相ごとに、ゴムモールド絶縁を行なった分岐ユニット、ヒューズユニットをそれぞれプラグインコネクタで接続するユニット方式のモールド形分岐箱を開発した。この分岐箱は導体充電部をすべて絶縁ゴムで被覆したため非常に小形となり、かつ電線との接続はすべてプラグイン式であるので電線の着脱が容易であり、さらに部品の交換は簡単、非常に軽量となった結果、十分実用性のあるものとなつた。以下にモールド形分岐箱の機能、構造、試験、装柱状況などについて述べる。

#### 4.1.1 機能

従来柱上および需要家側で、ボルト締め方式の金具により行なっていた低圧引込線の分岐を、分岐箱を設けて一つにまとめるとともに、従来の安全キャッチによる引込線の短絡保護を分岐箱に内蔵した保護装置により行ない、さらに分岐箱内の開閉器および開閉端子により、増設工事や事故時に、負荷電流の開閉や変圧器の励磁突入電流を投入できる機能を有するものとした。

#### 4.1.2 種類と構造

分岐箱の種類はA(A'兼用)形・B形・C形の三種類で、それぞれの回路と接続電線サイズ、寸法をまとめて表4.1に示す。

#### (1) A(A'兼用)形分岐箱

3章に述べた柱上変圧器からの低圧引下線と、電柱間を連接する低圧本線とを接続し、架空引込線2回路、地中引込線1回路の計3回路を分岐するもので、架空引込回路には短絡保護用のヒューズが取り付けられるようになっている。A'形は変圧器からの低圧引下線がない場合で、A形と兼用とした。

低圧側は三相4線式であるため、この分岐箱は図4.1に示すように一相ごとに分岐導体をゴムモールドして絶縁した分岐ユニットを四相分合せ、中性線以外の各相にはヒューズユニットを接続し、これを一つの装柱金具付きのケースに収容したもので、電線・ケーブルとの接続および分岐ユニットとヒューズユニットの接続は、すべて負荷電流の

表4.1 引込分岐箱の構造と寸法  
Construction of dividing boxes.

種類	A(A'兼用)形	B形	C形
構造と回路			
分岐ユニット寸法(一相分)	160×100×40	120×100×40	250×100×40
引込線サイズ(mm <sup>2</sup> )	架空引込線22~60 地中幹線 2×150+2×100	架空(出)3.2mm <sup>2</sup> ~14 地中引込線 (入)14~38	地中幹線 2×150+2×100 地中引込線 38~60

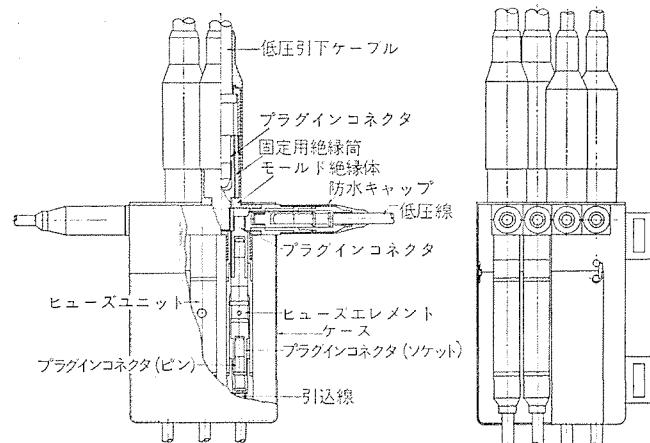


図4.1 A(A'兼用)形分岐箱  
Type A dividing boxes.

開閉可能なプラグインコネクタとし、簡単に活線状態で作業できる構造とした。なおヒューズを必要としない場合は、ヒューズユニットを除いて、分岐ユニットと電線が直接接続できるようになっている。また電線接続部分は防水構造とし、特に低圧引下線および低圧幹線接続部は防水に留意した。A形分岐箱の外観を図4.2に示す。

#### (a) 分岐ユニット

上述のように分岐用銅導体を耐候性、耐熱性および電気特性のすぐれたEPゴムでモールドし、各接続部分にプラグインコネクタのめす側レセップを取り付けたもので、配電方式に応じてこれを2~4枚組み合わせられるのが特長であり、各相ごとに独立した絶縁があるので安全性が非常に高い。

#### (b) ヒューズユニット

耐候性を有するプラスチック絶縁円筒内に、250 Vで20,000 Aのしゃ断容量をもつ小形ヒューズを入れ、絶縁円筒の両側にプラグインコネクタのプラグとレセップをそれぞれ取り付けたもので、分岐ユニットおよび電線とは容易に着脱できる。なお絶縁円筒には窓を設けてヒューズの溶断表示が見えるようにした。ヒューズの溶断特性は柱上変圧器内蔵しゃ断器の保護特性と協調をとり、電線の短絡電流によるダメージ特性を考慮に入れて選定した。

#### (c) プラグインコネクタ

分岐箱の小型化に成功した大きな原因の一つはこのプラグインコネクタの開発で、このコネクタは電線・ケーブルの接続作業が非常に簡単であるほか、負荷電流を開閉できるのが大きな特長である。構造は図4.3に示すようにプラグとレセップにわかれ、それぞれ通電部・負荷開閉部・電線接続部の3部から成る。負荷開閉部は特殊な金属を使用して開閉時のアーカーによる損傷を避けるようにし、銅製プラグの先

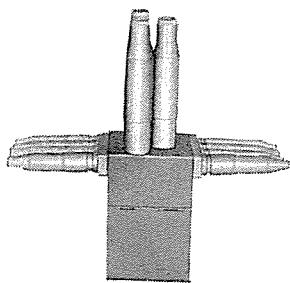


図 4.2 A 形分岐箱外観  
Type A dividing boxes.

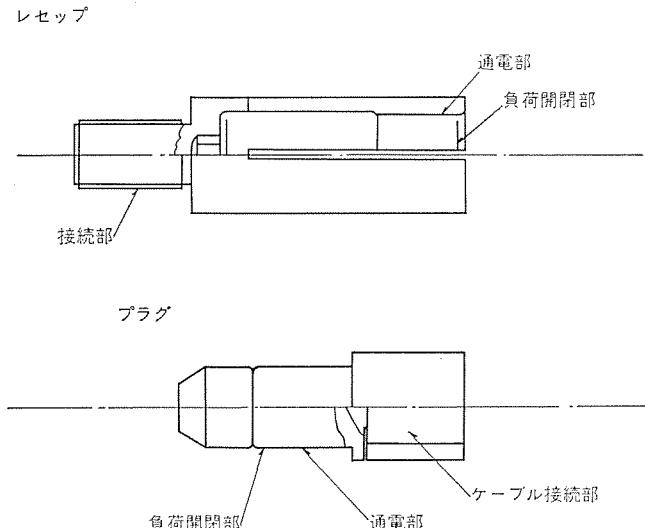


図 4.3 プラグインコネクタ  
Plug-in connector.

表 4.2 分岐箱の試験結果  
Test results of dividing boxes.

絶縁抵抗	取付金具類と充電部間, 各相間 $10\text{ M}\Omega$ 以上
絶縁耐力	取付金具類と充電部間, 各相間 $2,000\text{ V}$ , 1分間 OK
温度上界	18~30 deg
接続部の閉鎖能力	325 mm <sup>2</sup> 用 電圧 $210\text{ V}$ , 力率 0.56, 電流 $600\text{ A}$ を連続 5 回, 異常なし 60 mm <sup>2</sup> 用 電圧 $210\text{ V}$ , 力率 0.69, 電流 $200\text{ A}$ を連続 400 回, 異常なし
励磁突入電流投入能力	連続 5 回 OK

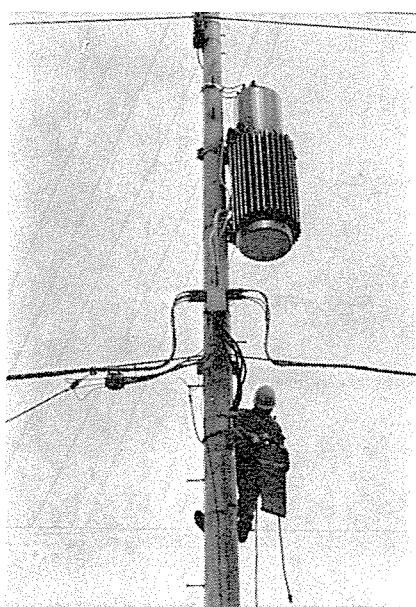


図 4.4 柱上変圧器と A 形分岐箱の装柱状況  
Overhead constructing of pole transformers and type A dividing boxes.

端にはプラスチックのガイドを取り付け、そう入を容易にした。またレセップにはばね性と電気伝導度の高い特殊クロム銅を使用した。なおプラグ、レセップともに全体に銀めっきを施し、電線との接続は圧着構造とした。

#### (2) B 形分岐箱

柱間架線途中、屋側、小柱上などに設置し、引込線の分岐を行なうもので、架空引込線は 2 回路であり、基本構造は A 形と同じである。

#### (3) C 形分岐箱

道路横断などに使用される地中引込ケーブルの分岐用で、分岐数は 3 回路である。ハンドホールまたは地上設置のケースに納めるため水密構造になっている以外は A・B 形と類似である。

#### 4.1.3 性能試験

各分岐箱について種々試験を行なったが、そのうち A 形分岐箱についての結果を表 4.2 に示す。

#### (1) 負荷開閉試験

60 および 325 mm<sup>2</sup> 用のプラグインコネクタについて表 4.2 に示した条件で開閉試験を行なった。60 mm<sup>2</sup> 用については全く問題なく、接続部の表面の荒れや損傷は認められず、試験前後の温度上昇にも差がなかった。これは負荷開閉部の特殊金属の効果によるものである。念のため普通のプラグインコネクタで同様な試験を行なったが、接続部がかなり損傷した。325 mm<sup>2</sup> 用については電流が  $600\text{ A}$  であるため、開路時に多少アーカーが発生するが、接続部の損傷はほとんど認められなかった。

#### (2) 柱上変圧器励磁突入電流投入試験

柱上変圧器の低圧引下ケーブルと A 形分岐箱を接続するプラグインコネクタは、変圧器の取り換工事などで低圧側から変圧器を励磁することがあり、この場合短時間ではあるが変圧器の定格電流の約 30 倍の励磁突入電流を投入することになり、かなりの危険が予想されたので、325 mm<sup>2</sup> 用プラグインコネクタについて  $50+125\text{ kVA}$  変圧器の高圧側を開いた状態で、低圧側からの励磁突入試験を手動で 5 回行なったが、アーカーの発生や金属粉の飛散などはなく簡単に投入でき、プラグインコネクタの接点についてもなんら異常は認められなかった。

#### (3) 短絡試験

後述の低圧回路の保護協調試験時に A 形分岐箱のヒューズユニット直下で短絡し、u-v 相間に  $15,000\text{ A}$ 、u-w 相間に  $10,900\text{ A}$  の電流をヒューズのしゃ断完了までそれぞれ数 ms 通じたが、分岐箱やプラグインコネクタに異常は認められなかった。なおヒューズ以外については  $20,000\text{ A}$  102 ms の短時間容量を確認している。

#### 4.1.4 装柱

上述の各種分岐箱を 2 章の柱上開閉器、3 章の柱上変圧器、4.2 節の電線・ケーブルなどとともに、特設した配電機器装柱試験場の 14m コンクリート柱に装柱して作業性を検討した結果、作業が非常に簡単で特に熟練を要せず、十分省力化できることが確認された。現在長期の性能確認のため、課電試験を続行中であり、装柱状況の一例を図 4.4 に示す。

#### 4.2 電線

##### 4.2.1 高圧引下ケーブルと端末

従来高圧引下線には PD 線と称する絶縁電線が用いられてきたが、装柱・配線の簡素化、安全化を図るため絶縁体上に金属しゃへい層を有するケーブルが用いられることになり、種々検討を行なった結果、電気特性にすぐれ、比較的可とう性もあり、かつスリップオン形 LP

がいしへのそう入が容易であるという点を考慮して  $8\text{ mm}^3$  CV ケーブルを選定した。

CV ケーブルと変圧器との接続部には、ケーブルに EP ゴムを一体モールドしたのとエポキシブッシングを組み合わせる方式を採用し、これらを一体とした非着脱形を開発した。エポキシブッシングは高圧引下ケーブルの装柱配線を考慮して L 形とし、変圧器ケース外に出る部分は電気的しゃへいとしてメタリコンを施した。EP ゴムコーンと金具の水密には O リングを用い、金具とビニルシースとの間もビニルモールドを施して完全水密構造としている。

#### 4. 2. 2 低圧引下ケーブルと端末

変圧器の低圧引下ケーブルは変圧器側面への配線、変圧器の下側に設置されるA形分岐箱への配線などを考慮し、耐熱性、可とう性のよいものとして絶縁体に難燃性EPゴム、シースにビニルを選定した。また導体サイズの大きなものには半可とうよりを用いている。変圧器容量別のケーブル構成は表4.3のとおりである。

変圧器と低圧引下ケーブルとの接続には、導体からの浸水を考慮して圧縮端子を用い、導体と絶縁体および絶縁体とシースとの間への雨水の浸入を防ぐため水密端末処理を行なっている。

#### 4.2.3 低壓線

低圧線系統は、低圧幹線・架空引込幹線・地中引込幹線・地中引込線・架空引込線などで構成される。地中線および架空引込線にはそれぞれ従来からある CV ケーブルおよび DV 線が使用されるが、低圧幹線・架空引込幹線では架線上 メッセンジャーが必要となり、このため新しい低圧多心電線を考えることになった。この場合、中性線とメッセンジャーの共用、非共用について種々検討した結果、作業の容易さ、付属品の簡単さなどから、非共用方式とし、かつ工場であらかじめラッピングする構造を採用した。

絶縁体には特殊耐熱ビニル、シースにはビニルを採用した。これは電線の許容電流およびダメージ特性をCVなみに引き上げ、かつ万一電

表 4.3 低圧引下ケーブルの構成  
Component of low voltage drop cables.

変圧器容量 (kVA)	導体構成 mm <sup>2</sup>			
	U (黒)	V (赤)	W (白)	N (緑)
50+125	325	325	100	100
25+75	200	200	38	38
10+40	80	80	38	38

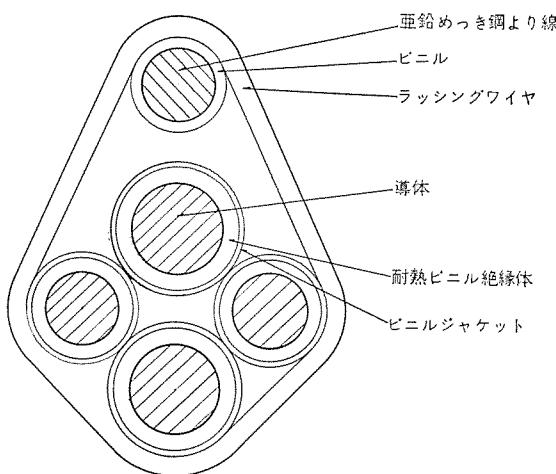


図 4.5 低圧多心電線断面  
Low voltage multi-core cables.

線が短絡保護範囲を超えて使用された場合にも、発火・延焼しないことを考慮して決定したもので、各種の試験によって上述の懸念のないことを確認した。低圧多心電線の具体的な構造は図 4.5 に示すとおりで、線心の色別は低圧引下線と同様黒・白・赤・緑である。

#### 4.3 低圧回路の保護協調

低圧系統に万一短絡事故が発生した場合、低圧線がダメージを受けて使用不能になる前に、短絡箇所になるべく近い所で電源をしゃ断して保護しなければならない。そのためには各種 サイズの電線について、短絡電流と時間に対する電線のダメージ特性を、電流の減衰特性とともに求めておく必要がある。もちろんヒューズの  $I-t$  特性においても、この電流の減衰特性を考慮しておかないと保護協調を正確に設計できない。このため実際に柱上変圧器と低圧線を組み合わせて短絡試験を行ない、短絡電流-時間特性、電線の損傷程度を調べる一方、これと並行して実験室で正確なダメージ特性を求める方法を用いた。その結果、ビニル 絶縁電線のダメージの限界は発煙開始の寸前をとるのが妥当との結論を得た。これらの実験結果をもとに作成した耐熱 ビニル 電線のダメージ特性を図 4.6 に示す。図には低圧線の短絡を保護するために新しく開発した 100・200 A ヒューズの溶断特性を併記している。

これら低圧線の保護設計を行なうに当っては図4.7のような想定される一つのパターンを考え、種々の個所で短絡が起きた場合の短絡電流を計算した。この場合DV線の末端短絡において最小短絡電流は360 Aであり、低圧幹線MOVY-1の30 m末端での短絡電流は約1,600 Aであった(50+125 kVA 変圧器のとき)。

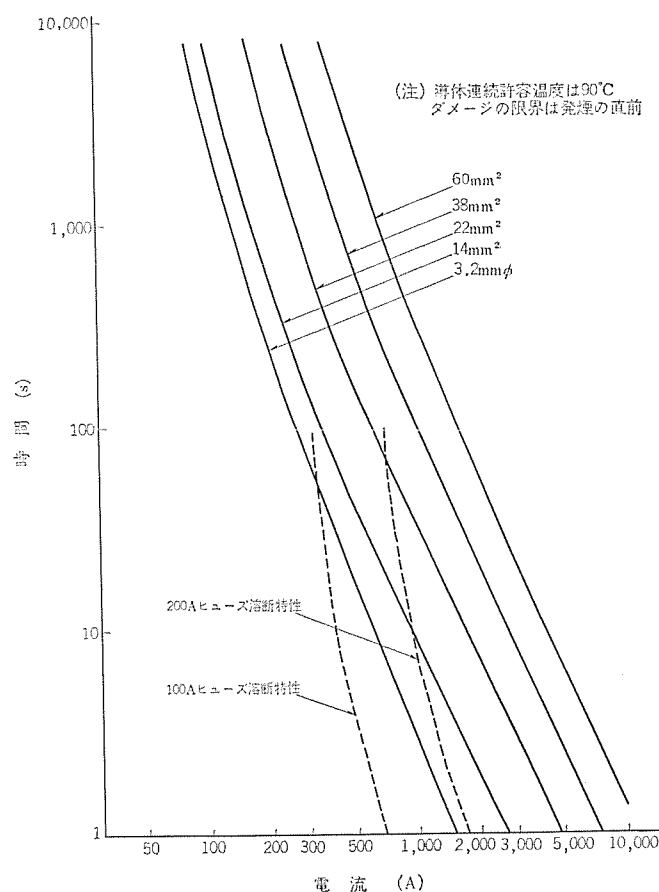


図 4.6 耐熱ビニル絶縁電線のダメージ特性とヒューズの I-t 特性

Damage characteristic of heat resisting vinyl insulated cables vs. I-t characteristics of fuses.

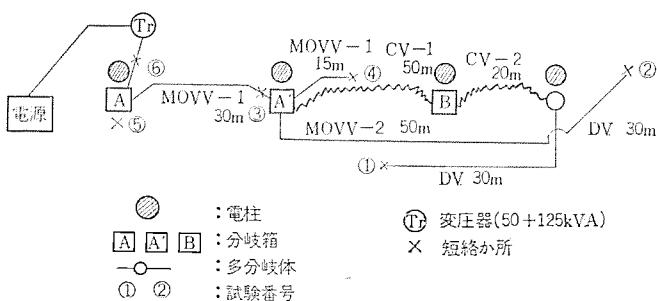


図 4.7 保護協調試験回路  
Test circuit of protective co-ordination.

これらをもとに種々検討した結果、低圧幹線での短絡は 3.4.7 項の変圧器高圧側に内蔵したしゃ断器で保護し、架空引込幹線、引込線などでの短絡に対しては 4.1 節の分岐箱に装着したヒューズにより保護する方式が最終的に採用された。もちろん両者の特性には

表 4.4 保護協調試験に使用した電線ケーブル (単位 mm<sup>2</sup>)  
Applied wires or cables for protective co-ordination test.

種類	記号	U 相	V 相	W 相	N 相
低圧幹線	MOVV-1	60	60	38	38
架空引込幹線	MOVV-2	38	38	38	22
地中引込幹線	CV-1	150	150	100	100
地中引込線	CV-2	50	50	22	22
引込線 (a)	DV	22	22	22	—
引込線 (b)	DV	3.2φ	3.2φ	3.2φ	—

協調がとられている。なお以上の保護協調に対しては表 4.4 の電線を図 4.7 のように接続して短絡試験を行ない、設計・製作に対する十分な検証を行なった。

# 最近の配電用避雷器

永井 信夫\*・但田 昭司\*・三住 日出夫\*

## Lightning Arresters for Distribution Lines

Itami Works Nobuo NAGAI・Shôji TADA・Hideo MISUMI

In the protection of distribution lines from the lightning hazard, the design has been carried out with effective application of lightning arresters as a nucleus of the function.

Mitsubishi has had copious experience in the manufacture of the lightning arresters of all kinds of rating including those used for power stations and substations since the first units of the kind was built in 1930.

Of the latest topics related to distribution valve arresters the report is made about those of three phase cluster construction and provided with epoxy molded casings developed for being self-contained in 6.6 kV transformers, and also about various arresters to be used on 22 kV and 33 kV distribution system.

### 1. まえがき

配電線の耐雷設計は、配電線耐雷設計基準要綱（昭和39年、電研）が発刊されて以来、避雷器の効果的な適用を中心に施行されている。

当社では昭和5年以來の豊富な避雷装置製作・使用実績を背景に、衝撃電圧発生装置、大電力短絡発電機を含む膨大な試験設備を駆使して、保護機器の生命である保護性能の検証を繰り返しつつ、各種配電機器に最も適した避雷装置の開発、改良に精力を注いでいる。本文では、最近の話題の中から6.6 kV 変圧器内蔵用避雷器と、22 kV・33 kV 配電用避雷器について言及する。

### 2. 変圧器内蔵用避雷器

都市の電力需要の増大にともなって配電機器はますます高性能小形化が要求され、一方電力供給に高信頼度を要求されるところから、避雷器を被保護機器にじか付けする方式から一段進んで、被保護機器と避雷器を一体化して機器の小形化と保護効果の向上をねらうことが考えられるが、現用の避雷器をそのまま使用する方法では飛躍的な発展はむずかしく、このために6.6 kV 柱上変圧器内蔵用に新形避雷器を開発した。

#### 2.1 変圧器に避雷器を内蔵する場合の問題点と利点

多くの配電用避雷器は屋外使用を考慮したものであって、がい（碍）子にはひだがついており、支持金具で支持柱に取り付けられる（図2.1）。したがって、変圧器に内蔵しようとするとき変圧器との組み合わせが適切でなく、変圧器が過大になったり、万一避雷器が破壊した場合には変圧器の油が燃えるなどの危険がある。

このため、変圧器内蔵用の避雷器としては、

（1）万一、しゃ断不能になってしまって避雷器が爆発飛散しないように防爆装置を有すること。

（2）変圧器タンク内でも放電特性が変化しないこと。

（3）変圧器タンクに入れるので小形であること。しかも油浸状態にあっても材料の劣化のこと。

（4）外部から点検が簡単にできないので、高信頼度のものであることを。

などが必要である。

配電用避雷器はきわめて廉価であり、以上の4条件を満たすこと

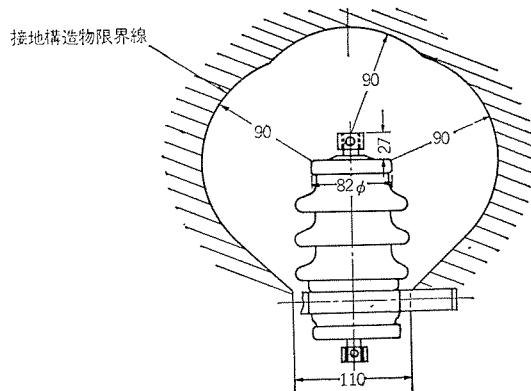


図 2.1 単相形避雷器  
Conventional arrester.

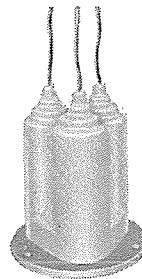


図 2.2 三相一括形避雷器  
Three phase cluster arrester.

は従来技術では経済的に実現が困難である。そのため、エポキシ容器を使用して三相分を一体にする方式を採用し、内部には従来品より小形化されたキャップと特性要素を収納し、防爆性能を備えたLV-GMC形三相一括形避雷器（図2.2）を開発した。このような三相一括形避雷器では容器の成形が正確でなければならず、中に不良箇所が1個所でもあれば三相とも使用不能になるので、製作にあたっては高い製造技術が要求される。

変圧器内蔵用避雷器の利点としては、

（1）汚損や天候などの影響を受けることがない。

（2）被保護機器の保護が確実になる。

（3）保守点検が軽減される。

（4）市街地の美観をそこなわない。

が従来品にない特長としてあげられる。

## 2.2 構造および特性

### 2.2.1 構造

図2.3は三相一括形避雷器の内部構造と寸法を示す。ギャップ部の周囲のエポキシ樹脂中にはシールドリングがかき状に注形時に埋め込まれ、相隣るギャップ同志が互いに放電に影響を及ぼさないように、また外側には接地電位部が接近しても放電特性が変わることのないようにしてある。したがって、三相の配電は相間の絶縁距離だけを考慮すればよく、単体のものを三角配置した場合より相間の距離は

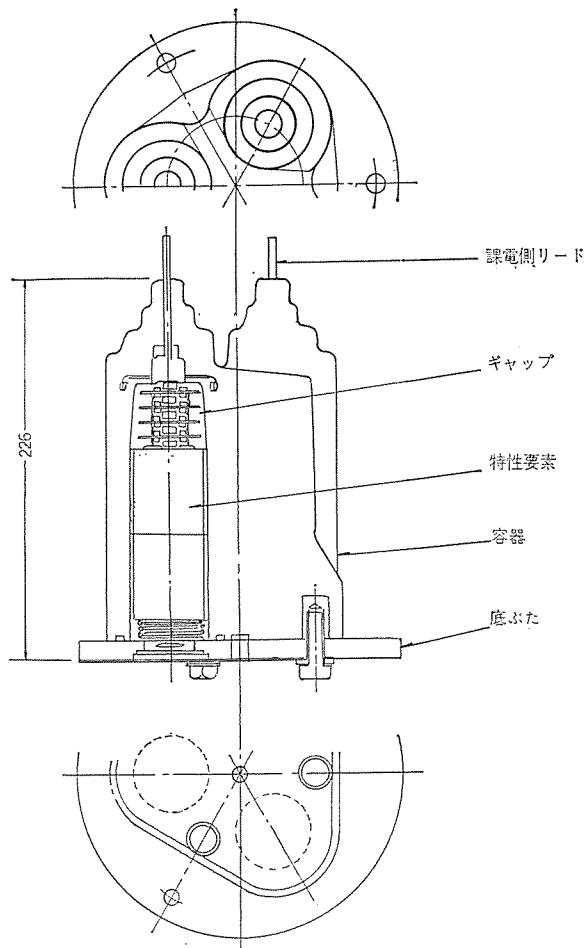


図2.3 LV-GMC形避雷器内部構造  
Inner construction of type LV-GMC arrester.

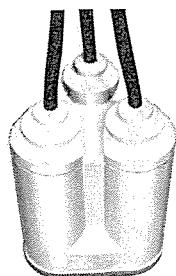


図2.4 三相一括形避雷器  
Three phase cluster arrester.

表2.1 LV-CMC形避雷器標準特性  
Performance characteristics of type LV-GMC arrester.

定格電圧 (許容端子電圧) kV rms	使用回路 電圧非有効接地 kV rms	商用周波放電開始電圧 kV rms 以上	衝撃放電開始電圧 kV crest				制限電圧 kV crest				放電耐量			
			100%		0.5 μs		2,500 A		5,000 A		4 x 10 μs 衝撃大気流 2回		2 ms く形波電流 20回	
			規格値	標準特性	規格値	標準特性	規格値	標準特性	規格値	標準特性	規格値	標準特性	規格値	標準特性
8.4	6.6	12.6	33 以下	27	38 以下	31	33 以下	27	33	10 kA	65 kA	75 A	150 A	

小さくなる。すなわち、単体のものでは、容器の内外部には健全時最大で  $E/\sqrt{3}$  の電圧が印加されるので、この電圧に耐える絶縁が必要となり、これをそのまま三角配置すると、相間では  $\frac{E}{\sqrt{3}} \times 2$  の電圧に対して絶縁することになり、 $\frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15$  約 15% の過絶縁を施すことになる。三相一括形の場合には相間は線間電圧  $E$  に対して絶縁すればよい。

しかも、変圧器内では前述のように汚損や天候の影響がないので表面にはひだが不要であり、避雷器を三角配置にしてその外径を 160φ 以内に納めることができた。

避雷器の課電側は引き出し線がきわめて接近しており、相間の絶縁に変圧器絶縁油を使用する場合、引き出し線は裸線でも耐圧上の問題がないが、この避雷器を油浸にしない場合は、引き出し線はゴム絶縁線とすることにより（図2.2）、耐圧は十分に保たれる。したがって、変圧器内ばかりでなく屋内と同様の条件下において、この避雷器の使用が可能である。容器には特に熱的・機械的衝撃に強く、しかも化学的に安定しているエポキシ樹脂を使用しているので、変圧器内蔵時に変圧器油の温度上昇、および変圧器内にしゃ断器が同時に据え付けられた場合の動作振動に対しても十分に耐えることができ、課電側引き出し線は、エポキシ中に注形で埋め込まれているのではずれる危険はまったくない。

接地側には各相共通の底ぶたが取り付けられ、各相は個々にOリングでシールされ、底ぶたの銅薄板の避圧膜が万一しゃ断不能になって内圧が上昇した場合に、10気圧程度で内圧を放出して容器が破壊するのを防止している。したがって避圧膜からのガスの放出方向を考慮すれば、しゃ断不能時に高温ガスが放出しても変圧器油が燃える危険はまったくない。

据え付けに際しては、接地電位部が避雷器に接触しても放電特性に影響を及ぼすことはないが、約5mm程度の間げき（隙）を変圧器タンクとの間にとり、170φ程度のスペースがあれば取り付けが可能である。

これを従来のものの据え付けスペースと比較すると約1/4の縮小率であり、三相一括形避雷器の変圧器内蔵がきわめて小形化に寄与するものであることがわかる。

### 2.2.2 特性

この避雷器は、JEC-156に準拠し製作された公称放電電流2.5kAの配電用避雷器であるが、三相一括形を採用していること、容器にエポキシ樹脂を使用していることなどから、従来品にない種々のすぐれた性能を備えている。表2.1はこの避雷器の特性を示すものであるが、規格に対して十分な裕度を有していることがわかる。

さらに、防爆性能としては、このクラスの避雷器では初めての300A 2s通電、3,000A 0.4s通電に耐えるばかりでなく、13kA 0.2sの通電に対しても良好な特性を有し、内蔵時の安全に万全の策をとっている。

また、汚損や天候に対しては充電部がまったく露出していないことと、タンク内に据え付けられることからまったく問題はなく、この

ことは保守用役を軽減すると同時に、保守点検を安全なものにしている。

### 2.2.3 保護性能

避雷器を変圧器に内蔵することにより信頼度が向上し、確実な保護が期待できる。一般に、被保護機器と避雷器の距離が離れていると、侵入波形、機器および線の配置などにより、避雷器でおさえられる電圧  $V_p$  より機器にかかる電圧  $V_t$  は大となり、サージ侵入側からみて避雷器より手前にある機器にかかる電圧  $V_t$  は

$$V_t = V_p + 2 \cdot U \cdot \frac{X}{V}$$

ここで、 $U$ ：侵入波の波頭しゅん度 (kV/μs)

$V$ ：サージの伝ば(播)速度 (m/μs)

$X$ ：離隔距離(m)

で表わされるから、仮に  $U=200$  kV/μs,  $X=10$  m としても、避雷器で制限される電圧より約 13 kV 高い電圧が機器に印加されることになる。内蔵形避雷器の場合には離隔距離による電圧上昇を無視でき、被保護機器には避雷器の端子電圧と同じ電圧が印加されることになる。表 2.1 によれば、雷侵入時に変圧器に印加される電圧は 27 kV 程度であり、変圧器のインパルス耐圧 60 kV に対して約 45% となり、きわめて大きな裕度を有する。

### 2.3 試験結果

この避雷器は三相一括形としてはほかに例なく、また容器にエポキシ樹脂を使用したことなどにより、JEC-156 に定められている以外に種々の試験を実施し、保護特性・性能および安全性を確認した。

#### 2.3.1 コロナ試験

線間電圧を印加した状態では特に有害なコロナの発生は認められず、エポキシ注形容器の良好な絶縁性と長期間の使用の安全性が確認できた。

#### 2.3.2 耐劣化性試験

完成状態の避雷器を冷熱温度差 80°C 以上 (低温 0~4°C, 高温 82~86°C), 時間間隔 15 分で 3 サイクル繰り返す冷熱試験を実施し、その後 63~68°C の湯中に完全に浸して 2 時間経過後、これを 0~4°C の冷水中に移して 24 時間放置する浸水試験を実施したが、外観上はもちろん、試験前後の電気特性に変化は認められなかった。

#### 2.3.3 防爆性能試験

短絡電流 300 A 2 s および 3,000 A 0.4 s のほかに、避雷器内部の二相を破壊し、三相 7.5 kV, 短絡容量 13.1 kA, 60 Hz の回路に接続、三相に電圧を印加した状態で二相に短絡電流を 0.2 s 通電して、避雷器の防爆性能の優秀性を確認した。図 2.5 に試験後の避雷器を示すが、避圧膜が正常に動作し容器はまったく異常のないことがわかる。なお、残り 1 相は試験後にも特性になんら変化は認めら



図 2.5 防爆試験後の外観  
Exterior feature after pressure relief test.

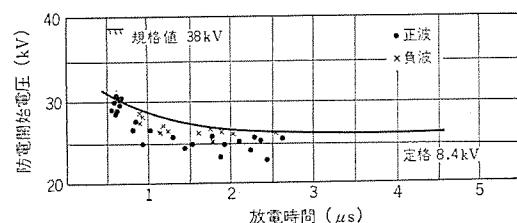


図 2.6 LV-GMC 形 避雷器放電開始電圧-時間特性  
Sparkover volt-time characteristics.

れなかった。

#### 2.3.4 動作責務試験

短絡容量 1,200 A, 電圧 8.4 kV の試験回路に避雷器を三相とも接続し、このうち 1 相にサージ電流を通電して動作責務試験を実施したが、単相での試験と同様に動作しゃ断を確認した。

#### 2.3.5 V-t 特性試験

避雷器の外側をスズはくでおおい、接地して放電電圧を測定したが、スズはくによる放電電圧の変化は認められず、図 2.6 のように良好な V-t 特性を得ている。

### 3. 22 kV・33 kV 配電系統用避雷器

配電電圧を諸外国なりの 22 kV・33 kV にする動きは、一部ではすでに実施段階にはいりつつあるが、耐雷設計の統一された施行法はまだ確立されるまでにいたっていない。

避雷装置としては、JEC-156 規格に準拠した公称放電電流 5 kA および 2.5 kA 避雷器が適用対象になると考えられる。つぎに報告する各種避雷器はいずれも使用実績をもつものである。

#### 3.1 22 kV・33 kV 配電用避雷器の概要

##### 3.1.1 避雷器の適用指針および避雷器の特性

22 kV・33 kV 配電用の避雷器として、SV-GH 形公称放電電流 5 kA 避雷器と LV-GL 形公称放電電流 2.5 kA 避雷器の 2 種類製作しており、特性を表 3.1 に示す。一般に配電用避雷器としては公称放電電流 2.5 kA 避雷器が使用されているが、22 kV・33 kV 配電

表 3.1 22 kV, 33 kV 配電用 SV-GH 形 および LV-GL 形 避雷器特性  
Performance characteristics of type SV-GH and type LV-GL for 22 kV, 33 kV distribution lines.

形 名	公称放電 電 流 kA	定格電圧 kV rms	中性点接地 方 式	最高使用 回路電圧 kV rms	基準衝擊 絶縁強度 kV crest	放電開始電圧		制限電圧 kV crest 以下		放電耐量	
						商用周波 kV rms 以上	衝擊波 kV crest 以下	100 %	0.5 μs	2.5 kA	5.0 kA
SV-GH 形	5.0	28	非有効接地	23	150	42	90	103	85	100	$4 \times 10 \mu s$ 65 kA 2回 (特別試験)
		42	非有効接地	34.5	200	63	135	155	128	145	2 ms 200 A 20回
LV-GL 形	2.5	28	非有効接地	23	150	42	105	126	105	—	$4 \times 10 \mu s$ 40 kA 2回
		42	非有効接地	34.5	200	63	160	184	160	—	2 ms 150 A 20回

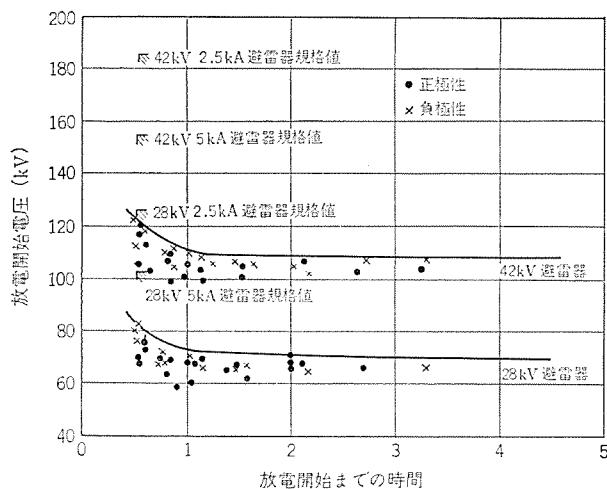


図 3.1 LV-GL形避雷器放電開始電圧-時間特性  
Sparkover volt-time characteristics of type LV-GL lightning arresters.

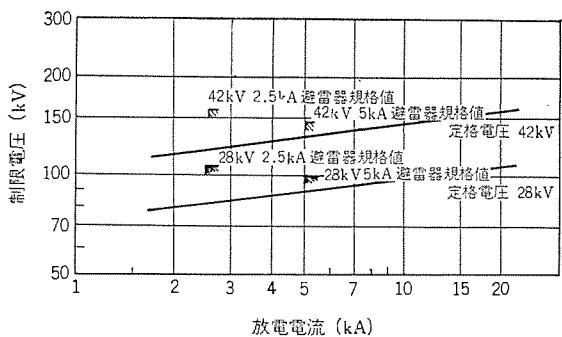


図 3.2 LV-GL形避雷器制限電圧-電流特性  
Discharge voltage characteristics of type LV-GL lightning arresters.

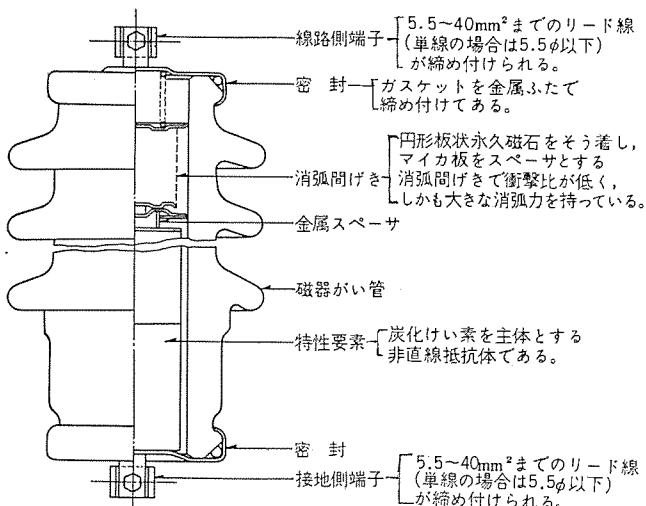


図 3.3 SV-GH形およびLV-GL形オートバルブ避雷器の内部構造  
Cutaway view of type SV-GH and type LV-GL autovalve lightning arresters.

では、避雷器の放電電流が大きくなることを考慮して、とくに強雷地区においては SV-GH 形 5 kA 避雷器の使用を推奨したい。

もちろん、LV-GL 形避雷器についても、図 3.1、図 3.2 に示すように、放電開始電圧-時間特性、制限電圧-電流特性とも 5 kA 避雷器の特性を満足する十分な保護特性を有しており、放電耐量の点で 5 kA 避雷器に対して若干おとるが、2.5 kA 避雷器の規格値  $4 \times 10 \mu\text{s}$  10 kA 2 ms  $\mu$ 形波 75 A の耐量に対して、 $4 \times 10 \mu\text{s}$  40 kA 2 ms  $\mu$ 形波 150 A と十分に大きな耐量を有している。

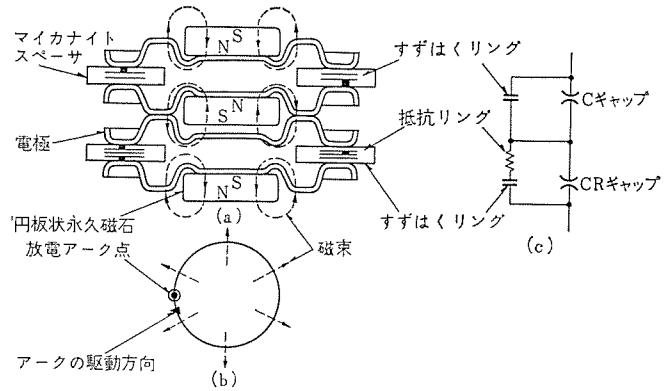


図 3.4 SV-GH形およびLV-GL形避雷器のギャップ構造  
および動作原理

Construction and operating principle of series gaps of type SV-GH and type LV-GL lightning arresters.

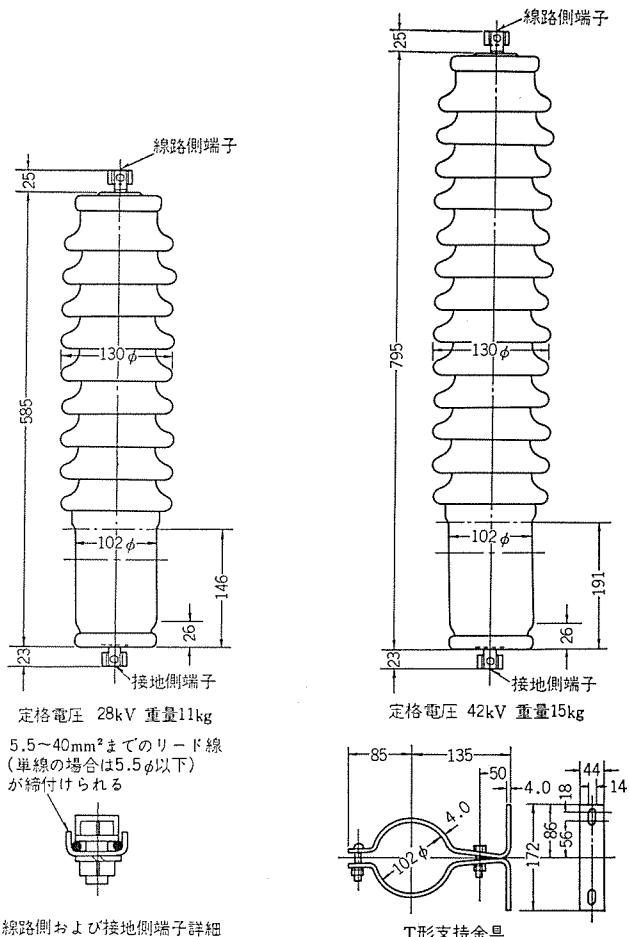


図 3.5 SV-GH形 28 kV および 42 kV 避雷器外寸寸法  
Outline dimensions of type SV-GH 28 kV and 42 kV lightning arresters.

### 3.1.2 避雷器の構造

SV-GH 形避雷器・LV-GL 形避雷器とも図 3.3 に示すように、直列ギャップと特性要素を避雷器要素として磁器がい管に収納・密封している。

直列ギャップ構造は図 3.4 に示すように、円板状永久磁石を電極背後に装着し、放電間げき部分に生じる動作時のアーカに直交磁界を作らせ、アーカを電極間で円運動させる永久磁石消弧方式を採用しており、大きな続流しゃ断能力を有している。またギャップは、C-CRギャップと呼ばれる特殊な分圧素子を電極間のマイカイトスペーサー中に包含している。これは、CギャップとCRギャップを適当枚数組み

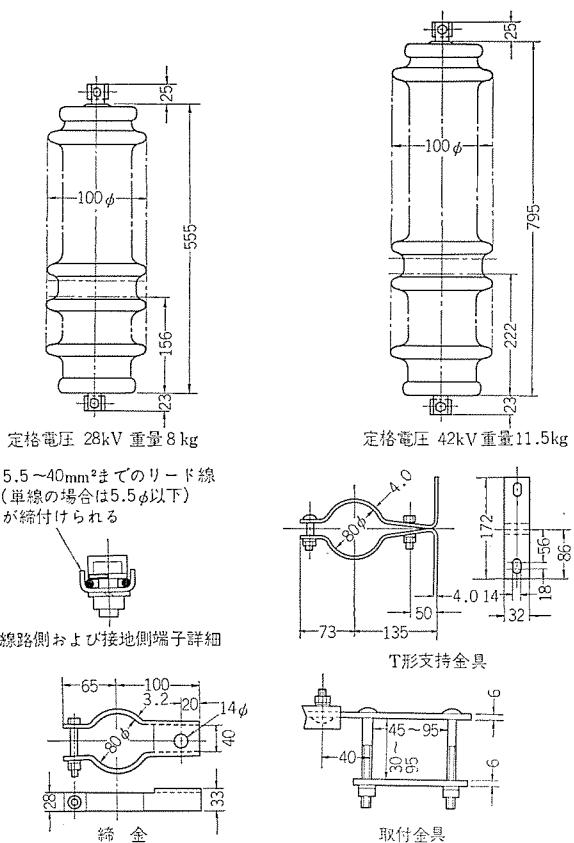


図 3.6 LV-GL 形 28 kV および 42 kV 避雷器外形寸法  
Outline dimensions of type LV-GL 28 kV and 42 kV lightning arresters.

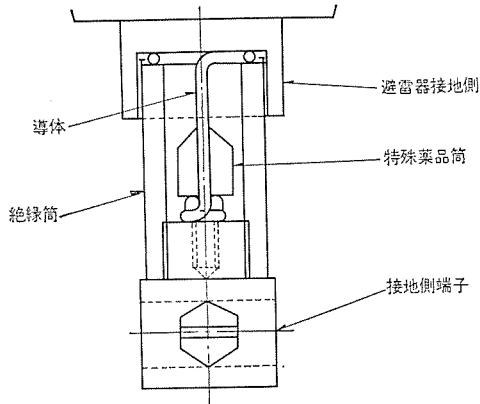


図 3.7 アイソレータ構造図(断面図)  
Details of isolator.

合わせて適用すれば、商用周波電圧に対しては、静電容量により印加電圧を均等分圧し、衝撃電圧に対しては、CR ギャップに大きな電圧が印加されることを利用して、組み合わせ ギャップ全体の放電特性

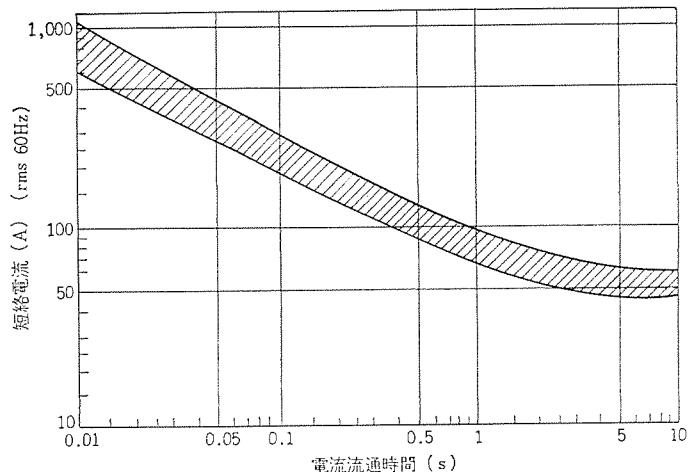


図 3.8 短絡電流流通によるアイソレータの標準動作一時間特性  
Current-time characteristics of isolator.

をコントロールできる特長がある。

また、単位ギャップの精電容量が大きいので、商用周波電圧架電状態での電圧分担を安定させることができ、単位ギャップの使用枚数が増加しても、磁器がい管の外部汚損に対して各ギャップの電圧分担のばらつきを小さくすることができるので、避雷器の外部汚損の影響を小さくおさえる特長がある。

### 3.2 避雷器の保守

22 kV・33 kV 配電用避雷器の保守は、6.6 kV 配電系統の避雷器と同様に、外観点検と絶縁抵抗測定を主体にして行なわれるが、実際の適用にあたっては、これらの避雷器は広範囲に多数取り付けられることが多く、保守は事実上外部からの点検にたよることが多いと考えられる。したがって、避雷器はできるだけ信頼度の高いものを使用する必要があり、当社では避雷器の電気的な性能試験のほかに、構造上からは全数真空気密試験を実施して密封構造の厳重な品質管理を行なって品質を保証している。

また、付属品として万一避雷器が破損した場合には、一定の無電圧時間をおけば故障避雷器を線路から切り離す故障表示をかねたアイソレータを作成しており、構造および動作特性を図 3.7、図 3.8 に示す。

### 4. む す び

配電系統は、その広範かつ複雑な系統構成のゆえに、耐雷設計の実施にあたっては被保護機器との協調を十分に検討しておく必要がある。

ここに当社避雷装置の一端を紹介したが、効果的な適用により、耐雷施行に寄与することを期待する。

## LOE 形 高圧地絡継電装置

天野 恒\*・松本 忠士\*・原 邦芳\*

## Type LOE Ground Relays for 6,600 or 3,300 V Lines

Kobe Works Hisashi AMANO・Tadashi MATSUMOTO・Kuniyoshi HARA

Ground relays for high voltage power consumers have been produced based on each manufacturer's original concept. In their operation at the users' lines, however, it has often brought about problems on the protection time coordination for ground directional relays at distribution substations of power companies who are in prior situations of the power supply system. Also there have been problems caused by the lack of unification with terminal signal of relay equipment (relays and zero phase sequence current transformers).

To settle these troubles, JIS C-4601 (1968) was set up in Aug. 1968 to unify the related standard in this country. On the part of Mitsubishi the manufacture of types LOE-4 V-R, LOE-4 C-R and LOE-5 V relays was started from Aug. 1969 to meet the JIS standard. This article explains how to operate them.

## 1. まえがき

高圧需要家内受電設備の事故発生状況を関係先諸統計により調べてみると、その60~70%が地絡事故である。もしこれらの事故がすみやかに除去されない場合は、その上位系統である電力会社配電用変電所の地絡方向継電器が動作し、その同一フィーダにつながっている他の需要家まで停電事故が波及する。また需要家の事故点も拡大し、場合によっては危険な短絡事故にまで発展する可能性がある。

このため、高圧需要家においても地絡継電装置を設けて保護しているのであるが、従来は各メーカー独自の製品が使用され、電力各社との保護協調が満足にいかなかつたり、ユーザでの適用誤りがあつたりするなど、その取り扱いに支障をきたすことが少なくなかった。このような実状のもとで、特性・構造などの規格を統一する目的で、昭和43年8月、JIS C 4601が制定されたのである。当社でも、従来LOE-2-R形およびLOE-3形地絡継電器を製作していたのであるが、昭和44年8月からJIS規格に合致する製品としてLOE-4 V-R形、LOE-4 C-R形およびLOE-5 V形地絡継電装置にモデルチェンジしている。以下このJIS規格品のLOE形地絡継電装置について述べる。

## 2. 高圧需要家の地絡保護方式

わが国の6kVまたは3kV高圧配電系統は、通信線への誘導障害を防止する意味から、一般に有効分地絡電流を0.5A以下程度に押さえる高抵抗接地方式が採用されている。また配電線の地絡保護は、電力会社配電用変電所の送り出し点においては、接地変圧器と零相変流器から得られる零相電圧と零相電流の積で動作する地絡方向継電器が用いられているが、高圧需要家では零相電流のみによる地絡過電流保護方式が採用されている。これは、高圧配電系統では、メガリングの条件、地絡方向継電器の感度などから、接地変圧器は1カ所しか設けられず、したがって需要家では零相変流器のみしか利用できないからである。

図2.1は、需要家内で地絡事故が発生した場合の地絡時の電流分布を示す。

地絡点電流  $I_g$  は次式で示される。

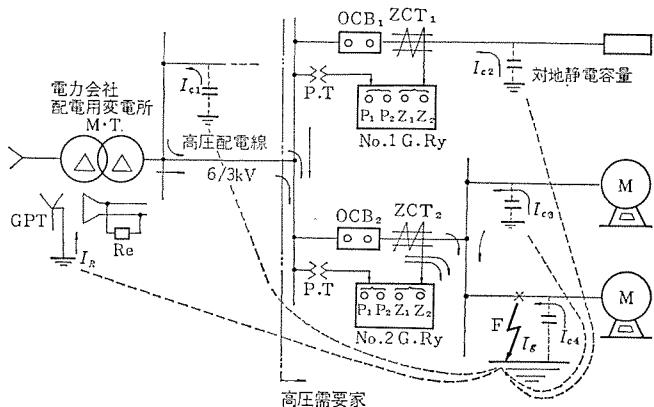


図2.1 地絡事故と電流分布  
Current flow on the ground fault.

$$I_g = I_R + I_c \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

ただし  $I_R$  = 有効分地絡電流

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c3} + I_{c4}$$

式(2.1)において、 $I_R$  は配電用変電所に設置された接地変圧器 GPT の二次電流制限抵抗  $R_e$  の値で決める有効分地絡電流であり、 $I_c$  は主変圧器 MTr の母線に接続されている全フィーダの3線一括～大地間の充電電流である。これらの電流は、完全地絡時  $I_R = 0.5 \text{ A}$ 、 $I_c = \text{数 A} \sim \text{十数 A}$  程度となっている。

健全回路の零相変流器 ZCT<sub>1</sub> の一次には、 $I_{c2}$  のみしか流れないが、故障回線の零相変流器 ZCT<sub>2</sub> の一次には、 $I_R + I_{c1} + I_{c2}$  が流れ、一般に  $I_R + I_{c1} + I_{c2} \gg I_{c2}$  となり、故障回線の地絡継電器 No. 2 GRy のみが動作し、しゃ断器 OCB<sub>2</sub> を開放し、故障を除去する。すなわち、故障回線と健全回線との零相電流の大きさにより、故障回線を選択している。換言すれば、配電系統全部の零相電流と、需要家内部の零相電流の比較により選択しているといえる。

したがって、しゃ断器 OCB<sub>1</sub> のフィーダがケーブル系で、なおかつこく(亘)長が長く、充電電流  $I_{c2}$  を無視できない場合には、地絡継電器 No. 1 GRy が、F点または配電用変電所の同一母線につながっている他のフィーダでの地絡事故の際、誤動作するおそれがある。この場合は、この地絡継電器のタップ整定を上げるか、需要家受電点に絶縁変圧器を入れるかするなどの処置を必要とする。

上記配電線の充電電流については次式で表わされる。

$$I_C = 3\omega c E \times 10^{-6} \quad (2.2)$$

ただし  $I_C$  = 充電電流 (A)

$$\omega = 2\pi f, f = \text{周波数}$$

$c = 1$  相当たり 静電容量 ( $\mu\text{F}$ )

$E$  = 相電圧 (V)

図 2.2 は、6 kVBN ケーブルについて、この充電電流を求めた一例である。参考にしていただきたい。

健全時には、図 2.3 (a) に示すように各相バランスした充電電流  $I_{C(a)}$ ,  $I_{C(b)}$ ,  $I_{C(c)}$  が流れ、三相合成すると零となり、図 2.3 (b) のように a 相が完全地絡すれば  $E_a$  は零となるが、 $E_b'$  および  $E_c'$  は、健全時の相電圧の  $\sqrt{3}$  倍の電圧となり、 $E_b'$  と  $E_c'$  の位相は  $60^\circ$  となる。

$$\begin{aligned} I_C &= I_{C(b)} + I_{C(c)} \\ &= \omega c E_b' + \omega c E_c' \\ &= \sqrt{3} \omega c E_b' + \sqrt{3} \omega c E_c' \quad (2.3) \end{aligned}$$

$$|I_C| = |3\omega c E| \quad (2.4)$$

式 (2.4) は、健全時の 1 相当たりの充電電流を  $I_C = \omega c E$  とすれば、3 線一括では  $I_C = 3\omega c E$  となることを意味している。

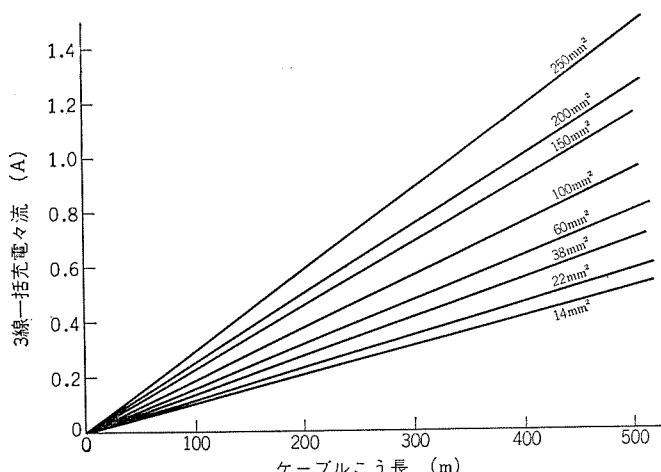


図 2.2 6.6 kV BN ケーブル (3 心) 充電電流 (例) (周波数 60 Hz)  
3 心一括～アース間充電電流を示す  
Charging current of BN cable at 6,600 V, 3-phase.

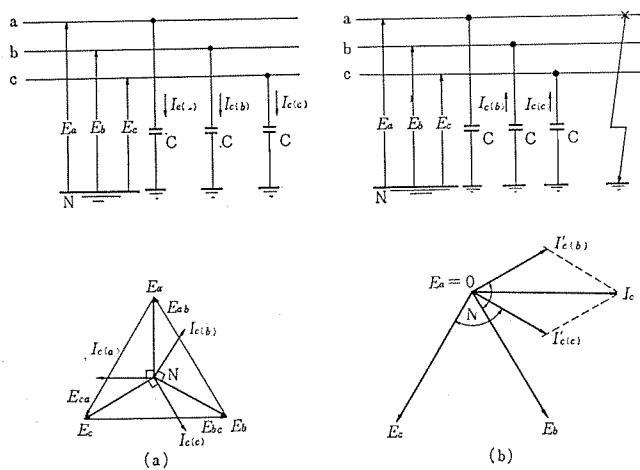


図 2.3 三相回路の対大地充電電流ベクトル図  
Vector diagram of the charging current to earth on the 3-phase circuit.

### 3. 構造と動作

LOE-4 V-R 形, LOE-4 C-R 形および LOE-5 V 形地絡継電器、および零相変流器 ZCT (貫通穴 40, 50 および 68 φ) 外観を図 3.1, 3.2 および図 3.3 に示す。

これらの継電器と ZCT とは、原則的に同一製造番号のものと組み合わせ、継電装置と称して使用するよう JIS では規定されている。

LOE-4 V-R 形および LOE-4 C-R 形は丸胴角埋込形であり、LOE-5 V 形は表面取り付け形であって、パイプアングル取り付けまたは屋外ケースに収納して、積算電力計のように需要家の軒先に取り付けられる構造となっている。

これらの継電器は写真にも示すように、正面左上に動作電流整定タップ (ロータリースイッチ) があり、動作表示窓は中央右にある。表示復帰はカバーをはずすことなくして、継電器ケース外側 (右下) から復帰棒を押し上げることにより行なえる。また中央部にはテストボタンスイッチがあり、必要に応じて容易に継電器本体の動作を確認することができる。また、写真では見えないが、正面左下には、50-60 Hz

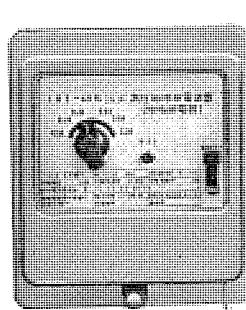


図 3.1 LOE-4 V-R 形地絡継電器 (LOE-4 C-R 形も外観は同じ)  
Type LOE-4 V-R ground relay.

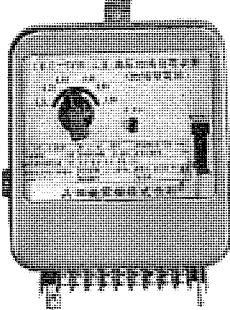


図 3.2 LOE-5 V 形地絡継電器  
Type LOE-5 V ground relay.

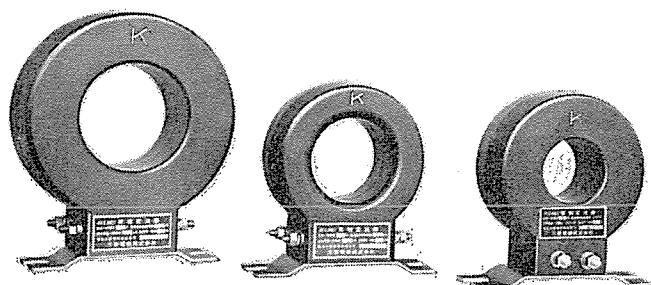


図 3.3 LOE 形地絡継電器用零相変流器外観  
Exterior view of ZCT for type LOE ground relay.

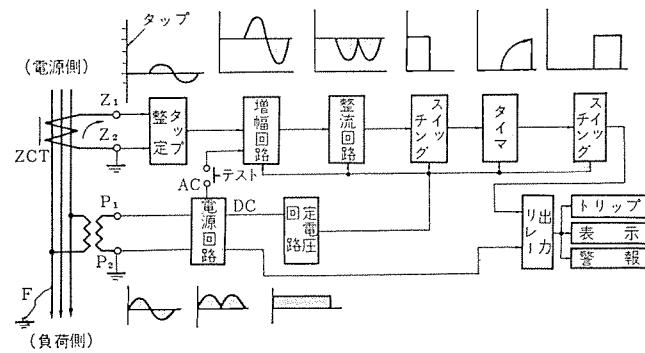


図 3.4 (a) LOE 形地絡継電器ブロック図  
Block diagram of type LOE ground relay.

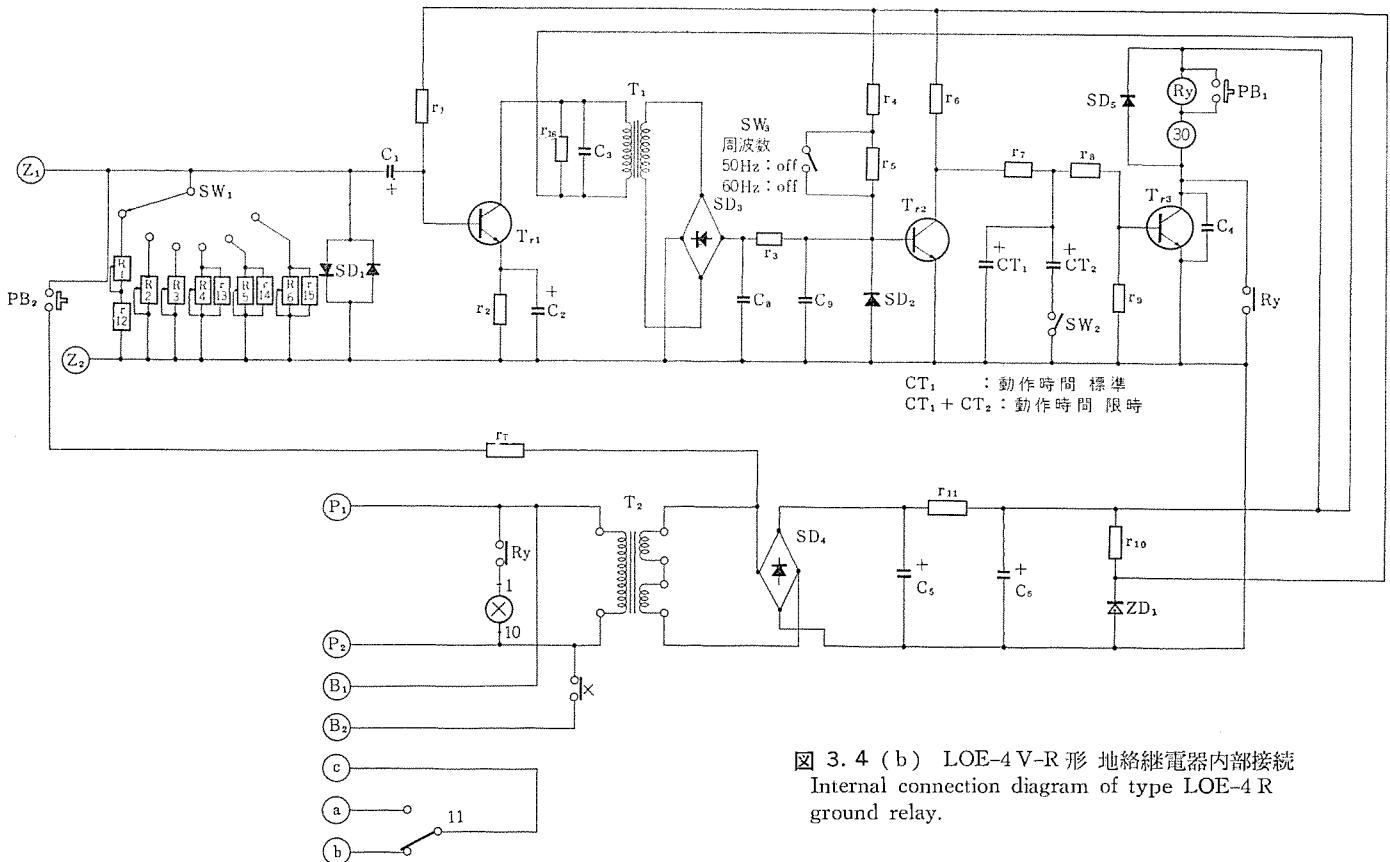


図 3.4 (b) LOE-4 V-R 形 地絡繼電器内部接続  
Internal connection diagram of type LOE-4 R ground relay.

表 3.1 LOE 形 地絡繼電器標準  
List of standard type LOE ground relays.

形名	形番	トリップ方式	定格事項			消費電力 (VA)		温度範囲 °C	動作時間
			周波数 Hz	制御電源 AC V	感度調整タップ A	動作時	常時		
LOE-4 C-R	PB725	CT トリップ (リアクタ内蔵)	50/60		0.1 - 0.2				切換式 "標準時"
LOE-4 V-R	PB726	電圧トリップ	共用	100/110	-0.4 - 0.6	15	3		広温形 -20~60
LOE-5 V	PB727	電圧トリップ (ブザー内蔵も可能)	(切換スイッチ付)		-0.8 - 1.0				"限時" スイッチ付

の周波数切り換えスイッチが、また右下には、時限切り換えスイッチが取り付けられている。

図 3.4 (a) はこの繼電器のブロック図を示しており、以下この図に沿って説明する。

図 3.4 (a) において、負荷側の F 点で地絡事故が発生すれば、地絡電流は図示のよう流れ、ZCT で検出し、繼電器への入力となる。零相変流器 (ZCT) の二次出力は、定格零相一次電流 200 mA のとき、二次電流は 0.25 mA (二次負担 150 Ω p.f=1) であり、このままでは出力リレーを動作させることができないため、タップ整定後の入力を交流増幅し、所要の大きさまで増幅された交流を整流し、スイッチング回路に導かれる。スイッチング回路への入力が規定値以上あれば、タイマー回路で JIS 規格で規定されている時限後 (入力がタップ値の 130 % で 0.1~0.3 秒、400 % で 0.1~0.2 秒) スイッチング回路を経て、小形リレーおよび表示器を付勢するようになっている。小形リレーが付勢されると自己保持をとるとともに、出力リレーを付勢し、所要の引きはすし動作および警報動作を行なう。なお、前記の小形リレーの自己保持の復帰は、表示復帰と連動しているので、しゃ断されたのち表示復帰を行なえば自己保持も解除される。

一方、これらの回路を作動させる電源は、制御用 PT 二次または、需要家の受電用変圧器の二次 (AC 110 V) を整流平滑し、定電圧電

表 3.2 零相変流器標準  
List of standard ZCT.

	定格電圧 V	周波数 Hz	貫通穴 mm	定格一次電流 A
ZCT 40 φ			直径 40 φ	150
ZCT 53 φ	6,600	50/60	53 φ	200
ZCT 68 φ			68 φ	400

源回路から必要な直流電圧を得ている。なお 詳細内部接続図を図 3.4 (b) に示しているので参照されたい。

これらの繼電装置は、組み合わせ使用されるしゃ断のトリップ方式により、CT トリップ用、電圧 (無電圧または加電圧) トリップ用いずれにも使用できるよう、表 3.1 に示すように、機種を充実している。また零相変流器は表 3.2 に示すものを量産している。零相変流器は、一次導体付とそうでないものがあり、一次導体付の場合は、表 3.3 に示す導体を使用することにしている。

以上述べたこの繼電装置の特長は次のとおりである。

- (1) JIS 規格を満足し、かつそれ以上の性能を有している。
- (2) 電力用シリコントランジスタを採用しているので、特性が安定し信頼性がある。
- (3) 周波数 50 Hz, 60 Hz の切り換えスイッチを有しているため

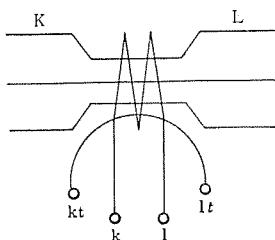


図 3.5 零相変流器結線図  
Wiring diagram of zero phase sequent current transformer.

表 3.3 零相変流器一次導体標準（導体スペース併用）  
List of standard primary cable for ZCT.

一次電流	導体名	導体仕様
150 A		公称断面積 38 mm <sup>2</sup> 仕上外形 16.1 mm <sup>2</sup>
200 A	6.6 kV 口出し用架橋 ポリエチレン電線	公称断面積 60 mm <sup>2</sup> 仕上外形 18.2 mm <sup>2</sup>
400 A		公称断面積 150 mm <sup>2</sup> 仕上外形 28 mm <sup>2</sup>

共用できる。

(4) 異常入力に対する過大入力保護回路を有しているので安全である。

(5) 動作時間の切り換えスイッチとして“標準”“限時”を有して

表 4.1 LOE 形 高圧地絡継電装置性能  
List of characteristics of type LOE ground relay system.

項目	JIS-C 4601 規格	本装置性能	項目	JIS-C 4601 規格	本装置性能
1. 構造	構造および端子記号を規定	JIS を満足する		b. 接点	プラグインリレーを使用しているためゴミによる接触不良の問題がなく、高信頼度高寿命である左記の規格を十分満足する
2. 不動作特性	ZCT 一次側の一線に各整定値の 80 % の電流を加えたとき不動作のこと	85 % の電流を加えても不動作		下記試験にて異常なきこと	
3. 最小動作電流	各整定電流値に対し ±10 % の範囲	±10 % 以下の目盛誤差		接点の種類	
4. 動作時間	試験電流	動作時間 (s)		開閉の別	
	整定値の 130 %	0.1~0.3	CT トリップ用	閉路のみ	AC 10 A
	整定値の 400 %	0.1~0.2	トリップ用	開閉	AC 5 A
5. 慣性特性	整定電流値の 130 %, 400 % の電流を 0.05 秒加えたとき不動作のこと	0.08 秒加えても不動作	過電圧トリップ用		AC 2 A
6. 残留電流	定格一次電流の残留電流に零相相当電流を重畠した場合雜電器の動作範囲は下記のこと	零相変流器鉄心にバーマロイを使用しているため残留特性は非常によい。JIS を十分満足する (図 4.1 参照)	無電圧トリップ用		AC 2 A
	定格一次電流 (整定値の %) 電流 mA		○電圧 : 110 V		
	50~200 A [80~120] 160~240		○回数 : 500 回		
	300~600 A [70~130] 140~240		○力率 : 0.5 (遅れ)		
7. 電圧の影響	定格周波数の 90~120 V の電圧を加えたときの動作値はおののの動作値の平均値の ±10 % の範囲であること。(3 回の平均)	動作整定値の ±10 % 以内動作範囲である。定電圧回路を採用しているため十分 JIS を満足する。(図 4.2 参照)	○開閉条件 : 15 秒以内の間隔で 0.5 秒通電または不通電		
8. 温度の影響	20°C における動作電流の平均値に対する許容差は下記のこと (広温形)	シリコントランジスタを使用しているため温度特性は非常によい。十分規格を満足する。なお、動作値だけでなく動作時間の温度誤差も左表を満足する。(図 4.3 参照)	1) 振動		○誤動作なし
	室温 °C -20 -10 0 50 60		○通電試験 : 複振幅 0.2 mm 振動数 16.7 C/S の振動を 10 分間与え定格周波数電圧を印加したとき誤動作しないこと		
	許容差 % ±30 ±15 ±30		○無通電試験 : 複振幅 4 mm 振動数 16.7 C/S の振動を 60 分間与えたとき異常なきこと いずれも前後左右上下方向		○異常なし 通電しても誤動作しない
9. 懸斜の影響	前後左右に 5° 傾斜させたときの動作値は ±10 % の範囲のこと (3 回の平均)	前後左右 30° 傾斜させても動作値に変化なし。動作表示器 (ターゲット) の誤表示もなし	2) 衝撃		異常なし 電気的特性も変化なし
10. 耐久性	1) 热的耐久性 48 時間内の定められたヒートサイクル後の動作値の差が、 ±10 % 以内であること	1) シリコントランジスタを使用しているためヒートサイクルによる耐久性は規格を十分満足する	12. 過電流強度		過大入力保護素子を内蔵しているため十分耐えうる
	2) 機械的耐久性 a. 機構 零相電流の任意の一線に 20 A の電流を 0.5 秒間加える。これを 500 回くりかえしたとき異常のないこと。	2) a. 過大入力保護素子を内蔵しているため十分耐えうる。	○過電流の電路一括と外箱間 : 2,000 V		
			○零相変流器の一次側電線と二次側試験用電線および取付金具との間 : 16,000 V		
			○一次電線相互間 : 16,000 V 各 1 分間		
					異常なし

おり、使用場所によっては、動作時間を長くしたい場合に非常に便利である。“標準”は JIS を満足する。

(6) 零相変流器の鉄心にはバーマロイを使用しているため、小形軽量で、なおかつ不平衡負荷電流重畠でも誤差出力が出ない。

(7) ロータリースイッチによる切り換え方式のため整定誤差がない。

(8) テストボタンがあるので、必要なときにはいつでも、トランジスタ回路およびリレー回路、しゃ断器その他の動作試験が簡単にできる。

(9) 零相変流器に試験端子を有しているので、故障電流を模擬して試験することができる。

(10) 動作表示器はターゲット式を使用しているので、本装置の動作によって停電する電源を制御回路に使用しても、一見して動作・不動作の確認が可能である。

(11) 端子番号は JIS 規格に準拠しているので、外部の結線作業が非常に楽になり、接続する機器の端子とじかに結線できる。

#### 4. JIS 規格との関連

LOE 形高圧地絡継電装置の性能および特性を、JIS C 4601-1968 高圧地絡継電装置の規格と対比させた場合、表 4.1 に示すように十分余裕をもって満足している。表 4.1 において JIS 規格は簡略して示しているので、詳細については、JIS C 4601-1968 を参照されたい。

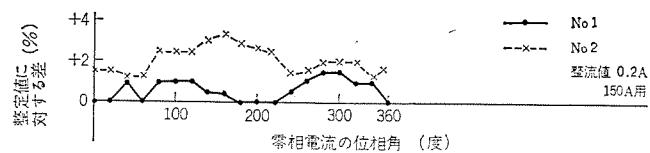


図 4.1 LOE-4 V-R 形 緊電器残留電流特性(例)  
Example of residual current characteristics of type LOE-4 V-R relay.

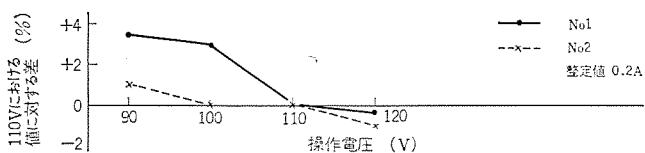


図 4.2 LOE-4 V-R 形 緊電器電圧の影響(例)  
Example of control voltage characteristics of type LOE-4 V-R relay.

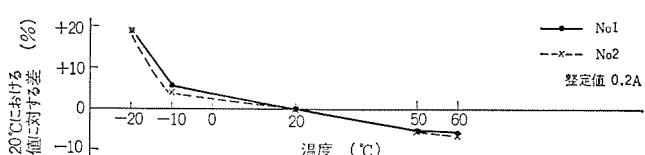


図 4.3 LOE-4 V-R 形 緊電器温度の影響(例)  
Example of temperature characteristics of type LOE-4 V-R relay.

## 5. 取り扱い上の注意

LOE 形高圧地絡緑電装置を使用する場合、取り扱い上注意すべき事項をあげると次のようなことがある。

(1) 零相変流器の試験端子  $k_t-l_t$  は試験時、模擬故障電流を流すときのみ使用し、試験後は必ず開放しておくこと。 $k_t-l_t$  を短絡すれば、二次出力は出なくなり、実際の地絡事故時、緑電器が誤不動作となり不測事態となりかねない。 $k_t-l_t$  は緑電器端子  $Z_1-Z_2$  に接続されており、 $k_t-l_t$  は開放されていることをしゅん(歎)工時十分 チェックしておくことが必要である。

(2) 零相変流器の二次側導線は、大電流を通ずるケーブルなどと接近して布設しないこと。また、しゃ断器の投入・引きはずしなどの制御用ケーブルなどと同一電線管内を配線しないことが、誤動作させないポイントとなる。もしどうしても前記の配慮ができない場合は、シールド線を使用するか、制御用ケーブルを燃架すると効果がある。

(3) 零相変流器の一次貫導導体として電力ケーブルを使用するとき、ケーブルのシールドのアースをとるには、図 5.1 (a) に示すよう、ケーブル端末のアース線はいったん零相変流器一次側をくぐらせ、負荷側でアースをとる必要がある。図 5.1 (b) では心線からシールドへの地絡電流が零相変流器一次側でキャンセルされ、零相変流器の二次出力が十分出ない場合が生じる。

実際盤に組み込まれて使用するときは、次の項目を確認または注

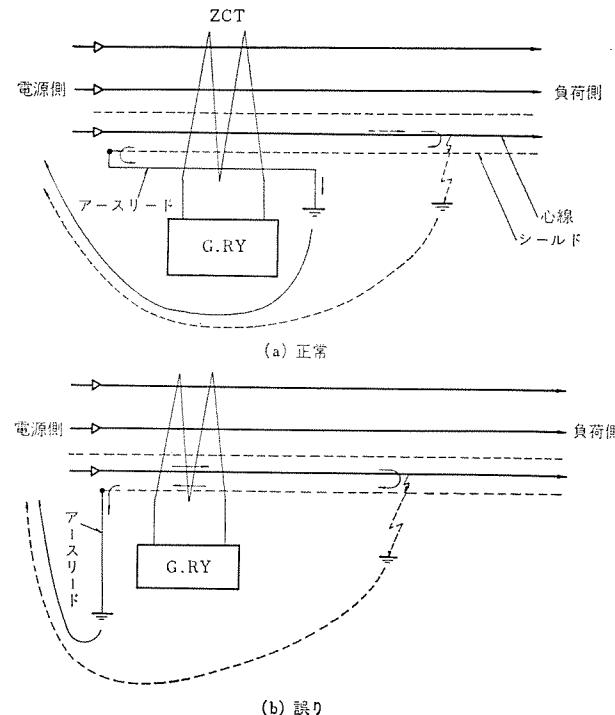


図 5.1 ケーブルシールドのアース方法  
Earth method of sealed of power cable.

意していただきたい。

(1) 周波数切り換えスイッチのつまみは使用周波数側になっているかどうか。

(2) 時限切り換えスイッチは“標準”側になっているか。(“時限”側を使用する場合は、電力会社設置の緑電器と協調がとれるかどうかを、あらかじめ電力会社に申し出、許可を得る必要がある。高圧需要家内にタイラントスがあり、このトランスの二次以降の地絡保護を行なう場合には、この限りではない。)

(3) テストボタンスイッチは、試験のとき以外は絶対に押さないこと。もし使用中に押せば、しゃ断器が引きはずされる。また、試験のとき テストボタンを十分押しても、緑電器が動作しない場合は、零相変流器二次端子  $k_t-l_t$  に緑電器端子  $Z_1-Z_2$  が接続されるべきものが、 $k_t-l_t$  に誤って接続されていないか チェックを行なう。もし  $k_t-l_t$  に接続されていれば、零相変流器  $k_t-l_t$  間は 1 ターン しかなく、トランジスタ回路へのテスト入力は、短絡された状態となるためである。

## 6. むすび

以上、JIS C 4601-1968 の当社の高圧地絡緑電装置について述べたが、さらによい製品を製作するよう改良、開発を進めている。

おわりに、この緑電装置の開発、製作に当たってご協力いただいた関係各位に謝意を表する次第である。

## PO 形 乾式計器用変圧変流器

光本 晃造\*・小野 達男\*・藤井 吉秋\*

## Dry Type Instrument Transformers for Metering Service, Type PO Series

Fukuyama Works Kôzô MITSUMOTO・Tatsuo ONO・Yoshiaki FUJII

Nowadays it is a strong desire to improve the reliability of apparatus used on distribution circuits. This has brought about a trend of using resin molded type instrument transformers by power companies instead of conventional oil filled type ones because of high estimation of the reliability. Paying attention to this excellent character, Mitsubishi had studied and developed the molded type machines for a fairly long time since the epoxy resin was introduced, and was successful in sending the products to the market in 1959. Much improvement has been made for this decade on the materials, their blending, manufacturing technique and shape design. Now the Company has completed a molded instrument transformer series of a great variety. This article describes the outlines of type PO outdoor instrument transformers used for metering service of electric power companies.

## 1. まえがき

配電回路用機器の信頼性の向上が強く要望される今日、従来の 6 kV 用油入式計器用変圧変流器にとってかわり、樹脂モールド乾式変流器がその信頼度を高く評価され、各電力会社ともこれを広く採用するよう勢にある。樹脂モールド形変流器は油入式に比べ、

- (1) 火災爆発などの二次災害のおそれがない。
- (2) 小形軽量であり機器近代化の要求にマッチする。
- (3) 濡氣・有害ガスなどの悪環境下でも絶縁劣化はほとんど生じない。
- (4) 保守・点検が容易である。

などの特長を有するため、欧米では古くからこの研究開発がすすめられ、すでに十数年の使用実績を有し、今日では 110 kV 回路用まで実用の域にはいっている。

当社では変流器の絶縁方式として樹脂モールドの優秀性に着眼し、エポキシ樹脂がわが国に紹介された昭和 28 年ごろからいち早くその研究開発に取り組んだ。昭和 34 年製品化に成功しはじめて市場へ送り出して以来十年余、材料・配合・工作技術・形状設計において幾多の改良を加え、現在では豊富な種類を有するモールド形変流器のシリーズが完成している。この中で、電力需給用として用いられる PO 形屋外用箱入変流器についてその概要を紹介する。

## 2. モールド絶縁材料

PO 形計器用変流器の絶縁材料として、開発当初からエポキシ樹脂を選んだのは、日本の国状に最もマッチしていることで、すなわち比較的高温多湿で、少量多種の生産に適合していることである。もちろんエポキシ樹脂そのものの物性が優秀であることは論を待たないが、加うるに、硬化剤・硬化促進剤・希釈剤・可とう性付与剤・充てん(填)剤などの種類が多く、希望の特性を有するエポキシ樹脂組成物が得られやすいことである。

しかし、配電器機の小型化、保守点検作業の軽減、高信頼性の要求、さらに使用電圧も高くなりつつあるのみならず、寸法精度の高い構造物を兼ねた一体構造へと発展しつつある今日、機器の要求性能を満足するような材料の開発はもちろん、設計・工作・品管、一丸となって研究を進めていく必要がある。

当社は PO 形計器用変流器を世に送って十有余年になり、その間の事故率は非常に小さいが、今後さらに信頼性の高い機器を作るため、2~3 の考察を実施してみたいと思う。

PO 形変流器の事故については、二つ以上の原因によって生ずる場合と、一つの原因から発展して結果的に大きな事故現象に発展する場合もあり、眞の原因をつかむことは非常にむずかしい。その中で大別すると下記のように分けられる。

- (1) 構造的欠陥
- (2) モールド絶縁材料
- (3) 工作上の問題
- (4) 電気的現象

この中でも最近配電線近代化に伴いバックパワーが大きくなつて、耐熱衝撃性、機械的強度の高いものが要求されるようになり、注塑品のクラック対策が注目されており、たとえば可とう性付与剤を添付

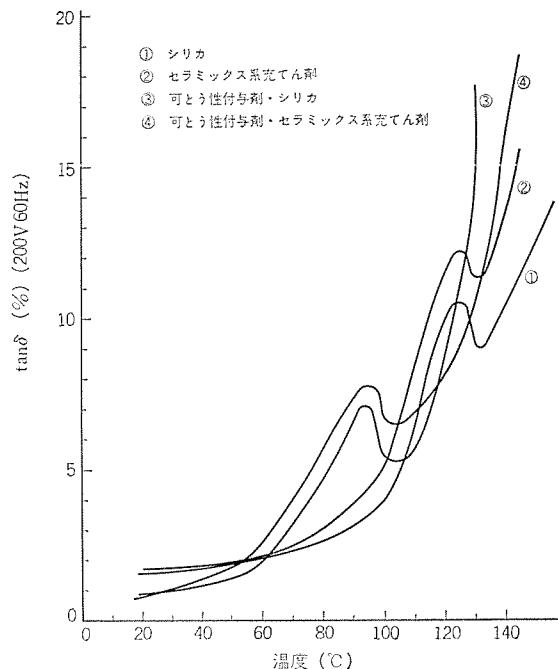


図 2.1 誘電正接の温度特性  
Dielectric-loss angle-temperature characteristics.

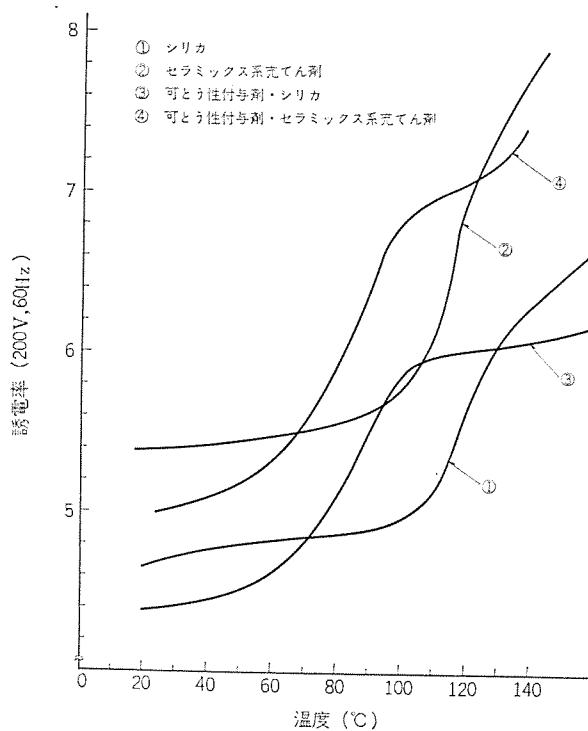


図 2.2 誘電率の温度特性  
Dielectric constant-temperature characteristics.

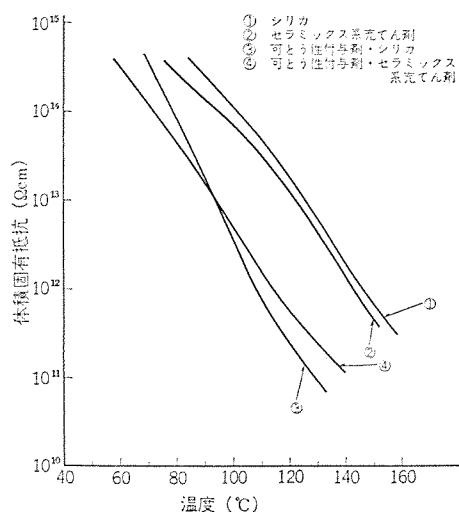


図 2.3 体積固有抵抗の温度特性  
Volume resistivity-temperature characteristics.

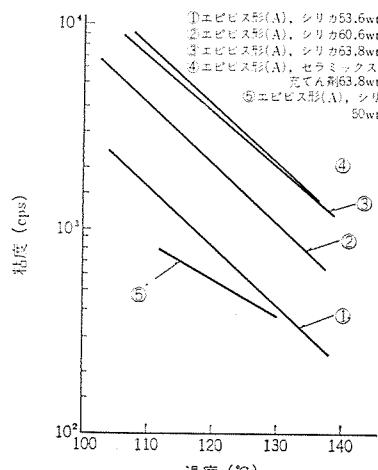


図 2.4 粘度-温度特性  
Viscosity-temperature characteristics.

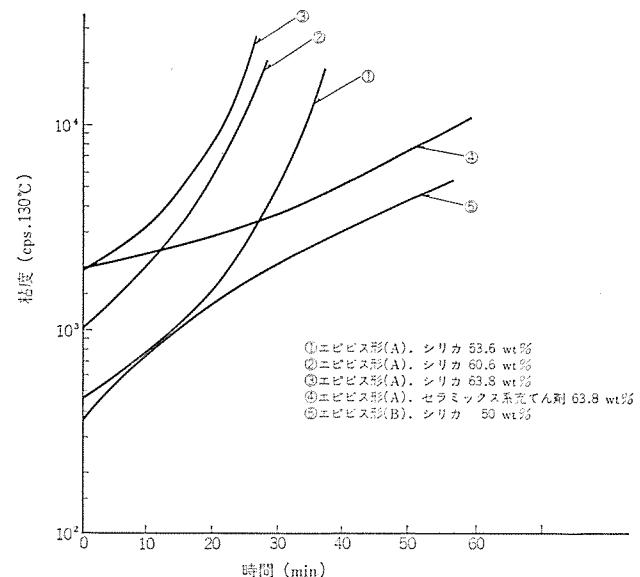
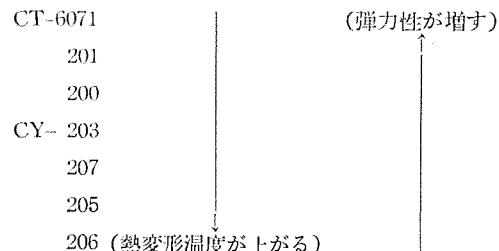


図 2.5 130°Cにおける粘度の経時変化  
Variation of viscosity at 130°C with the lapse of time.

する方法があるが、この場合電気的・機械的な特性を犠牲にすることが多いので、一般に好ましくない場合が多い。

## 2.1 樹脂・硬化剤の選定

樹脂選定にあたっては、注型物の大きさ、硬化時の発熱温度、硬化時間、粘度などがたいせつで一般にチバ樹脂で言うならば下記の傾向にある。



ベースになる樹脂として可とう性のある樹脂は、耐熱性が劣るという性質があるので、どうしても埋込物の形状、内部応力の緩和、充てん剤の添加が必要になる。内部残留応力としては硬化反応収縮、熱収縮の二つがあり、その比率は 10 : 90 といわれ、大部分の内部応力はエポキシ樹脂の二次転移温度から室温までの冷却過程において、発生するものと考えられる、ゆえにできるだけ低発熱のエポキシ樹脂を選定するとともに、硬化時に不均一な加熱、あるいは冷却をさけることが肝要である。

## 2.2 充てん材の選定

注型混合物に充てん材を添付して熱膨張係数を下げ、熱伝導を上げる。したがって熱衝撃によるクラック抵抗を上げる。一般にはシリカ粉末が多いが、最近セラミック系充てん材が注目をあびている。しかしこれら充てん材の粒度分布と添加量が大きなファクタになる。

## 2.3 埋込物の形状

内部応力に大きく影響を与えるものとして埋込物の形状も大きく、材料因子と関連して内部応力の分布・種類・大きさの検討が重要であるが、これらの光明は非常にむずかしく、主として二次元光弾性法、ストレンゲージ法を用いて検討している。

## 2.4 モールド作業と硬化

樹脂・充てん材・埋込物の選定が最良のものを使用しても、製作工程管理が重要で、人的要素を除き、機械化された一貫したプロセス

表 2.1 耐熱衝撃性におよぼす充てん剤の効果  
Effects of various fillers on thermal shock resistance.

樹脂部	充てん剤の種類	充てん率(重量%)	耐熱衝撃指数値
ビスフェノールA型エボキシ樹脂	シリカ325メッシュ	60.3	4.0
	セラミックス系充てん剤A	63.9	10.0
	B	66.7	14.0
脂環式エボキシ樹脂	C	66.7	12.0
	シリカ325メッシュ	66.6	0.0~1.0
セラミックス系充てん剤A		68.3	8.4

注) 樹脂部の配合は各場合において同一配合である

硬化条件 ビスフェノールA型エボキシ樹脂: 120°C×20~24時間  
脂環式エボキシ樹脂: 90°C×16時間+130°C×18~20時間

表 2.2 熱伝導性におよぼす充てん剤の効果  
Effects of various fillers on thermal conductivity.

充てん剤の種類	充てん率(体積%)	熱伝導率 (cal/s/cm²/°C/cm×10⁻¹)		
		充てん剤	樹脂部	充てん剤入り樹脂
アルミニウム30メッシュ	63	4,970	4.7	60.4
砂	64	28	4.7	23.6
マイカ325メッシュ	24	16	4.7	12.2
アルミナ(平板状)	53	723	4.7	24.5
アルミナ(Bimodular平板状)	58	723	2.0	36.5
アルミナ325メッシュ	48	723	5.4	30.4
銅粉	60	9,180	5.4	39.0
シリカ325メッシュ	39	28	5.4	18.3

表 2.3 熱衝撃サイクル  
Thermal-shock cycles.

サイクル番号	1 2 3	4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 14 15	16 17 18	19 20 21	22 23 24
温度差	105°C -10°C	105°C -15°C	105°C -30°C	105°C -45°C	105°C -60°C	120°C -60°C	135°C -60°C	150°C -60°C

注) 高温側は30分間、低温側は10分間保持する

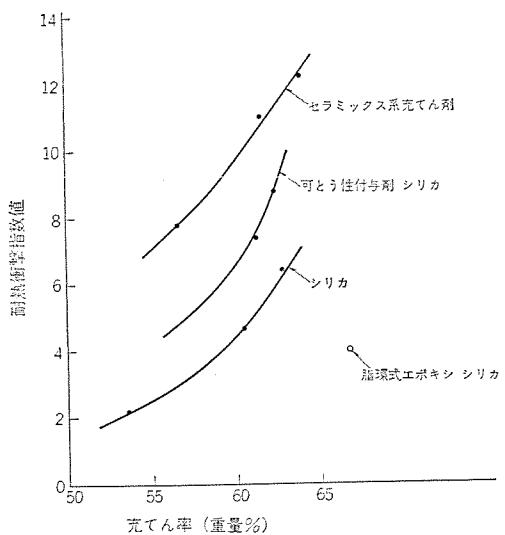


図 2.6 充てん剤量と耐熱衝撃性  
Relations between amount of fillers and thermal-shock resistance.

のシステムを作るべきである。特に硬化・冷却については特に重要で、たとえば加熱硬化後においては二次転移温度付近の処理について、注型樹脂の弾性率の温度依存性を(把)握して温度こう配を小さく

するようなプロセスを考えることにより、一層信頼性をあげることができる。

## 2.5 耐熱衝撃性テスト

耐熱衝撃性テストとしてはいろいろの方法があるが、当社ではオリファントワッシャー試験法を、一部変更した試験法を用いているが、これらの方法も実機テストとの相関性について難点がある。しかしながら樹脂、硬化剤、可とう性付与剤、充てん剤の種類および量と耐熱衝撃性の傾向を把握することはできる。

## 2.6 今後の課題

材料の改良、品質管理方法の合理化、製造工程のシステム化、ならびにテストベースと実物との相関性など明確するとともに、絶縁物と厚み、埋込物の形状・配置、静電界の分布など総合的に検討し、より良い物にしたいと考えである。

## 3. PO形変成器の構造と種類

PO形シリーズはいずれも三相3線式6kV回路用変圧変流器であり、図3.1に示すとく取付板上部に変流器、下部に計器用変圧器を各2台設置し、これを鉄箱に収納したものである。据付けは柱上懸垂・平面置きいずれも可能な構造であり、回路への接続はブッシングを介して鉄箱内から外部へ引き出された高圧絶縁ケーブルを使用する。検定封印および2重比定格の場合の定格電流切換は上部ふたを取りはずして容易におこなうことができ、箱内高圧充電露出部には絶縁隔壁を設けることにより箱の小形化を図っている。

箱の形状は図3.2および図3.3に示すとく角胴形と丸胴形の2種類がある。

最近の配電回路におけるバッカパワー増大の傾向にともない、計器用変成器の有する過電流耐量は仕様選定の際に最も留意すべき特性の一つである。PO形シリーズは過電流強度の標準定格として40倍

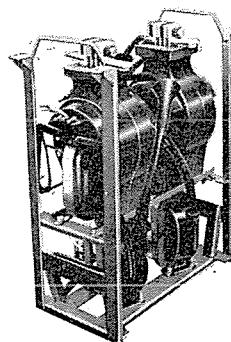


図 3.1 内部構造  
Interior view.

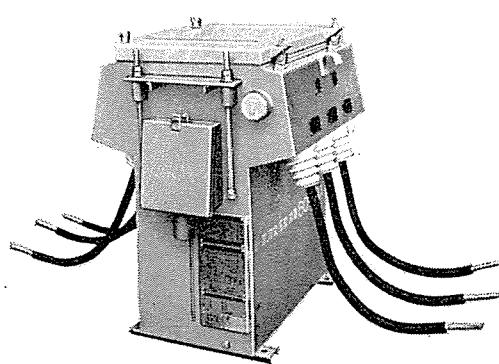


図 3.2 PO-6 H形計器用変圧変流器  
Type PO-6 H instrument transformer.

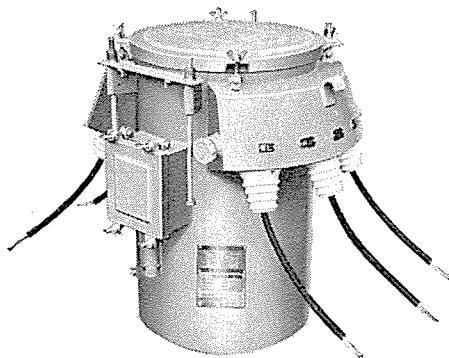


図 3.3 PO-6 R形計器用変圧器  
Type PO-6 R instrument transformer.

表 3.1 PO形計器用変圧器一覧  
List of type PO series instrument transformers.

形名	過電流強度	階級	計器用変圧器		変流器		重量kg
			変圧比	定格負担	変流比	定格負担	
PO-2 H	40	0.5 M	6,600/110	15VA×2 25VA×2	5~400/5	15VA×2	58
PO-2 W	75	0.5 W	6,600/110	15VA×2 25VA×2	5~200/5	15VA×2	59
PO-6 H	150	0.5 W	6,600/110	15VA×2 25VA×2	5~150/5	15VA×2	100
PO-2 R	40	0.5 W	6,600/110	15VA×2 25VA×2	5~200/5	15VA×2	60
PO-6 R	150	0.5 W	6,600/110	15VA×2 25VA×2	5~150/5	15VA×2	60

75倍、150倍の3種類を有し、回路に最もマッチした定格を選定できる。過電流耐量を得るために、変流器コイルの電流密度の選定のほか、コイル形状を円形巻にすることにより過電流印加時の応力の均等化を考慮している。

鉄心には磁気特性のすぐれた方向性けい素鋼板を用いることにより、小形化・高精度化を図り、JIS規格の0.5M級、0.5W級に十分適合する特性を有する。

表3.1にPO形シリーズの仕様の概略を示す。

#### 4. 誤差特性

電力需給計器用であるため、特に誤差特性は良好な特性をもつよ

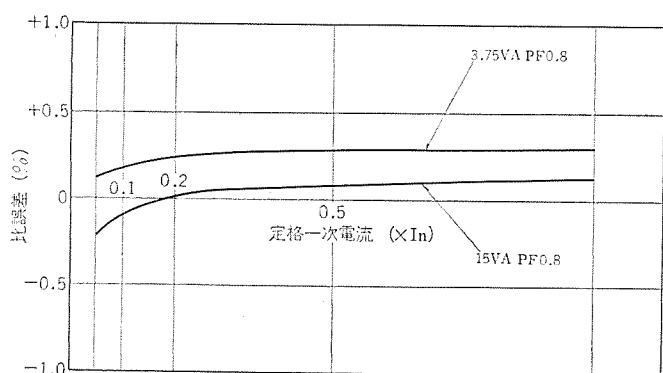


図 4.1 PO-6 H形 PCT の CT 比誤差特性曲線  
CT-ratio error characteristic curves of type PO-6 H instrument transformer.

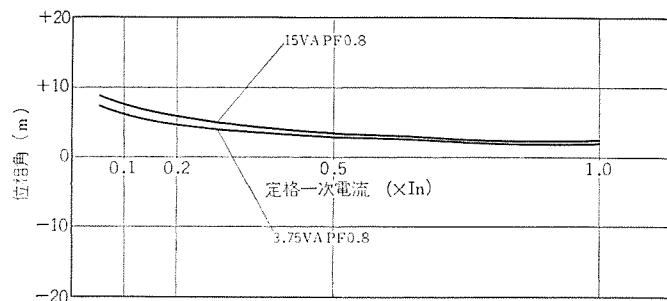


図 4.2 PO-6 H形 PCT の CT 位相角特性曲線  
CT-phase angle characteristic curves of type PO-6 H instrument transformer.

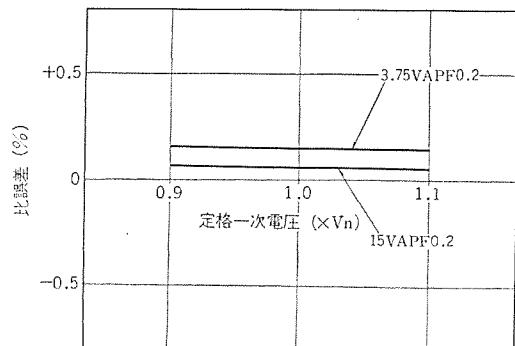


図 4.3 PO-6 H形 PCT の PT 比誤差特性曲線  
PT-ratio error characteristic curves of type PO-6 H instrument transformer.

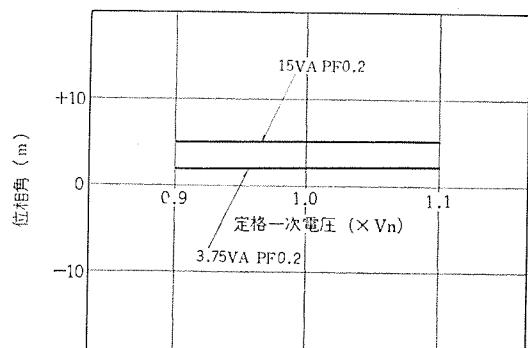


図 4.4 PO-6 H形 PCT の PT 位相角特性曲線  
PT-phase angle characteristic curves of type PO-6 H instrument transformer.

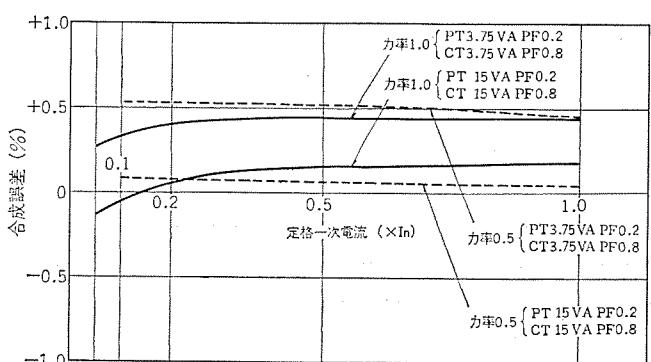


図 4.5 PO-6 H形 PCT の合成誤差曲線  
Overall error curves of type PO-6 H instrument transformer.

うに設計してある。誤差階級の種類によって設計仕様が異なり、誤差特性も若干の相違があるが、JISの0.5W級相当品は方向性けい素鋼板の採用により非常に平たんな電流特性を有している。

図4.1～4.5にPO-6 H形 PCT の誤差特性を示す。

## 5. 絶縁性能試験

当社モールド変成器の絶縁を構成するエポキシレジンは、一般A種絶縁材料より耐熱耐湿性にすぐれ、かつ機械的強度、絶縁耐力の点でも高く評価されていることはすでに述べたとおりであるが、実機での絶縁性能の評価については、特にモールドの劣化に起因するものとして耐候性（主として温度差によるきれつの発生）によるものと、コロナ放電による絶縁低下が考えられるので、この点に重点をおいて行なった試験結果を述べる。

### 5.1 供試品

#### （1）モールド形変流器

6,900 V (6号A級) 20-10/5 A 15 VA

#### （2）モールド形変圧器

6,600 V/110 V (6号A級) 15 VA

## 5.2 試験内容

### 5.2.1 $\tan \delta$ 試験

#### （1） $\tan \delta$ -電圧特性

可搬式逆シェーリングブリッジで常温における1~7.9 kVの $\tan \delta$ -電圧特性を測定した。

#### （2） $\tan \delta$ -温度特性

可搬式逆シェーリングブリッジで20~90°Cの $\tan \delta$ -温度特性を測定した。

### 5.2.2 コロナ試験

コロナパルスの大きさパラメータとした印加電圧と発生個数との分布を測定した。図5.1に測定回路を示す。コロナパルスの分布は増幅器内部に設けた弁別器により、コロナパルスの大きさを区分し、計数率計によって発生数を計数したものである。

### 5.2.3 冷熱試験

モールド変成器が温度変化を受ける場合、温度変化が急激に生ずると、モールド材は熱伝導度が悪いため、モールド材自身の内外にかなりの温度差が生じ、大きなひずみ力を発生する。この場合、製品内部に潜在しているひずみ応力と重ね加わって、クラックや、はく離を生ずる可能性がある。この内部残留応力の影響を握る手段として、強制冷熱劣化試験を行なった。この場合、非常に急しゅん（峻）な、熱湯冷水によるヒートショック試験と、やや緩慢ではあるが、耐低温性を重要視したヒートサイクル試験の両者について試験した。

#### （1）ヒートショック試験

この試験は供試品を低温0ないし5°Cの冷水中と、95±5°Cの熱湯中に2時間ずつ入れ、連続3回繰り返して行ない、この試験前後の $\tan \delta$ 、コロナ開始電圧（C.S.V.）の変化を測定した。

#### （2）ヒートサイクル試験

この試験は恒温そう（槽）により気中で冷熱試験を行なったもので、温度差も夏期と冬期の最悪条件を考慮して、高温80°C、低温-20°Cとし、おののの温度で4時間放置した。繰返し回数は5回。

## 5.3 試験結果

### 5.3.1 $\tan \delta$ 試験

誘電正接は図5.2に示すとおり常規電圧付近まで $\tan \delta$ はだいたい一定であり、常規電圧をこえる付近からコロナ現象のため漸次増加しているが、その増加の割合は少ない。電圧下降曲線は電圧上昇曲線と一致しており、良好な絶縁性能を示している。また $\tan \delta$ -温度特性は図5.3に示す。

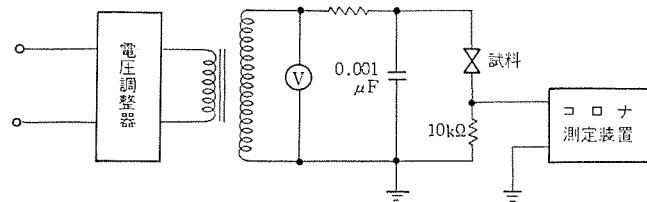


図5.1 コロナ測定回路  
Corona measurement circuit.

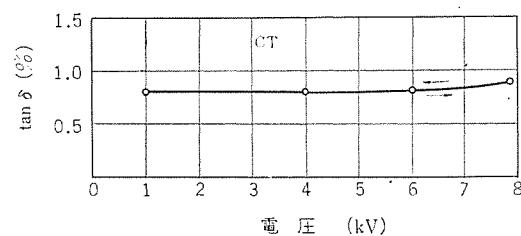
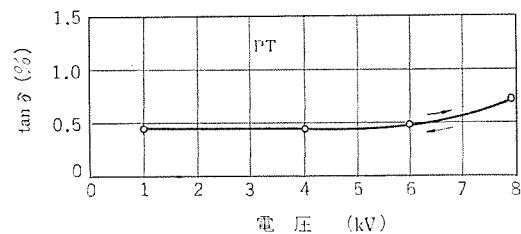


図5.2 tan δ-電圧特性曲線  
tan δ-voltage characteristic curve.

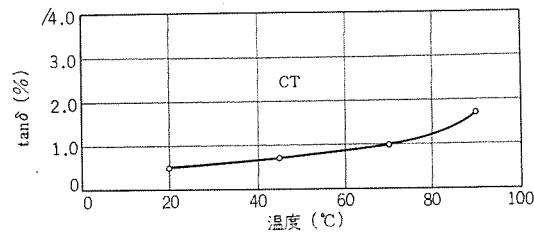
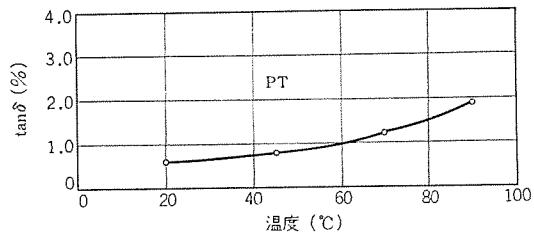


図5.3 tan δ-温度特性曲線  
tan δ-temperature characteristics.

### 5.3.2 コロナ試験

コロナパルスの大きさをパラメータとした印加電圧と発生個数の分布を図5.4、5.5に示す。

コロナの放電電荷量とモールドの絶縁劣化の関係については、まだあきらかでない点が多いが、放電電荷量  $10^{-11}$  クーロン以上のコロナパルスの発生をC.S.V.管理の一つの基準においている。

### 5.3.3 冷熱試験

#### （1）ヒートショック試験

熱湯冷水におけるヒートショック試験で変化した $\tan \delta$ 、C.S.V.の変化量を図5.6、5.7に示す。モールドは煮沸状態におかれると表面はやや変色するが、 $\tan \delta$ およびC.S.V.の変化はほとんどない。その他の特性の劣化も認められず、6号A級の衝撃電圧試験および商用周波耐圧試験にも合格した。

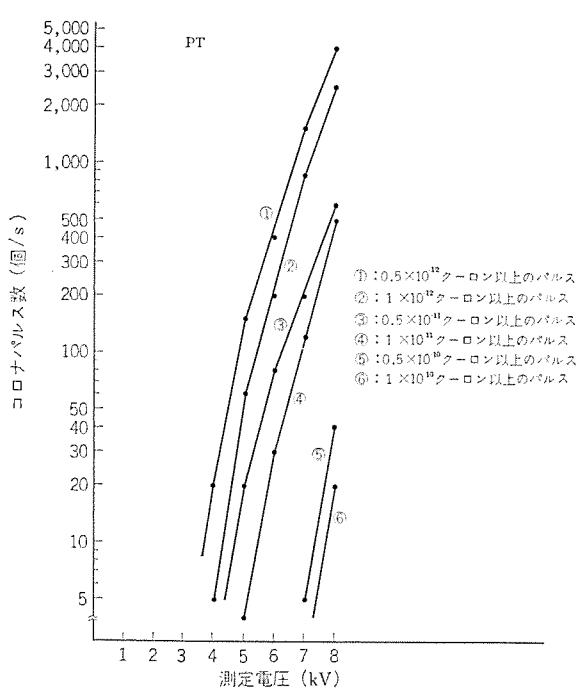


図 5.4 コロナパルスの電圧特性 (PT)  
Voltage characteristic curves (PT) of corona pulses.

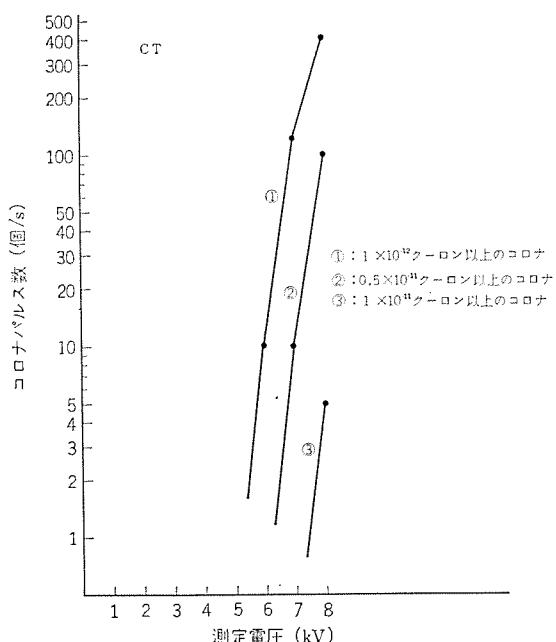


図 5.5 コロナパルスの電圧特性 (CT)  
Voltage characteristic curves (CT) of corona pulses.



図 5.6 冷熱試験後の誘電正接の変化  
Variation of dielectric-loss angle after heat shock test.

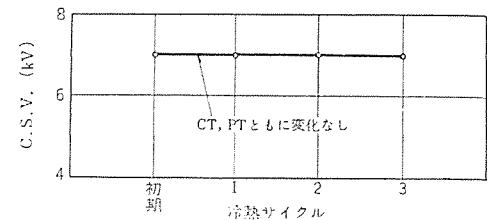


図 5.7 冷熱試験後の C.S.V. の変化  
Variation of corona starting voltage after heat shock test.

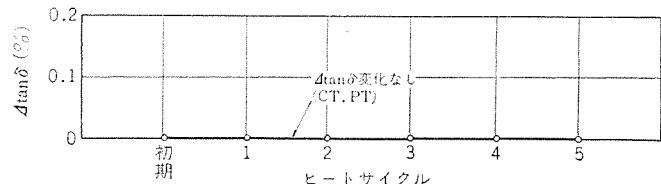


図 5.8 ヒートサイクル試験後の誘電正接の変化  
Variation of dielectric-loss angle after thermal tests.

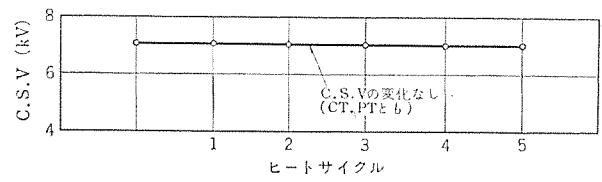


図 5.9 ヒートサイクル試験後の C.S.V. の変化  
Variation of corona starting voltage after thermal tests.

## (2) ヒートサイクル試験

気中におけるヒートサイクル試験で変化した  $\tan \delta$ , C.S.V. の変化量を図 5.8, 5.9 に示す。この試験においても外観的・特性的変化はほとんどなく、6号A級の衝撃電圧試験および商用周波耐圧試験もまったく問題なかった。

## 6. む す び

以上当社のエポキシ樹脂モールド計器用変圧変流器の概要について述べたが、配電の近代化とともに乾式変成器は急速に普及し、さらに特別高圧の分野まで拡大するものと予想される。今後ともいっそりの研究を重ね、配電回路の信頼性向上にいささかなりとも寄与したい所存である。本文が使用者各位のご参考になれば幸いである。

## スポットネットワーク用 FLK 形限流ヒューズ

岩崎 行夫\*・野田 豊\*

## Type FLK Current Limiting Fuses for Spot Network Receiving Systems

Itami Works Yukio IWASAKI・Hajime NODA

On the low voltage side of a spot network receiving system, it is very necessary to provide small sized circuit protecting equipment that is capable of interrupting extremely large short-circuit fault current with a very high speed and yet is possessed of ability to suppress the thermal and mechanical damage of the faulty circuits to the minimum.

To meet the requirement Mitsubishi has completed the whole series of protector fuses type FLK to be used for spot network receiving systems and also that of current limiting fuses to be used as take-off fuses having the rated voltage of 500 V, the rated current 500~5,000 A and the interrupting capacity of 200 kA. This article is a report made on them.

## 1. まえがき

最近の過密都市における電力需要の増大・集中化は高層ビルに代表されるが、これらの近代化されたビルに電力を供給する新しい配電方式として、供給信頼度の高いスポットネットワーク配電が実施されている。

このスポットネットワーク受電設備の低圧側には、きわめて大きな短絡故障電流を非常に高速度にしゃ断することができ、しかも故障装置および故障回路の熱的・機械的被害を最小限に押さえることができる小形のしゃ断保護装置が必要である。

この要求にこたえるため、当社では FLK 形という大容量の限流ヒューズを開発し、多数納入している。

以下このスポットネットワーク受電設備のプロテクタヒューズ、およびティクオフヒューズとして使用される FLK 形限流ヒューズについて述べる。

## 2. FLK 形限流ヒューズの概要

## 2.1 スポットネットワーク用ヒューズ

スポットネットワーク受電設備に使用される限流ヒューズは、その使用条件を考えれば、次のような特長を持つものでなければならない。

- (1) きわめて大きなしゃ断容量を有すること。
- (2) 系統機器と良好な保護協調がとれていること。
- (3) 小形であること。

これらの条件を備えた従来にはない大きな通電容量をもつ、FLK 形限流ヒューズの外観写真を図 2.1 に示す。

## 2.2 定格および寸法

定格およびヒューズリンクの外形寸法を表 2.1 および図 2.2 に示す。この外形寸法は、日本電設工業協会技術資料 67-5 (JECA 67-5) 「スポットネットワーク受電設備技術指針」に合致するものである。主と

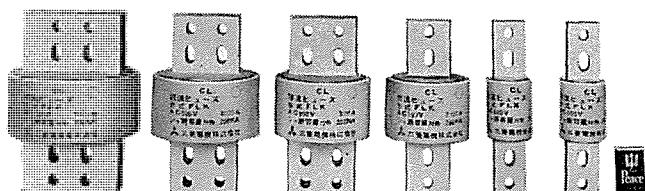


図 2.1 FLK 形限流ヒューズ 500 V, 500~5,000 A (左より 5,000 A, 4,000 A, 3,000 A, 2,000 A, 1,000 A, 500 A)

Type FLK current-limiting fuze 500 V, 500~5,000 A.

して、22 kV/240, 415 V のスポットネットワーク受電設備の低圧側に使用されるが、一般の回路保護用にも適用される。

表 2.1 定格 List of ratings.

形 式	定 電 壓 V	定 格 電 流 A	定 格 周 波 数 Hz	定 格 通 電 容 量 kA	使 用 場 所	用 途
FLK	500	500, 1,000			屋 内 (盤内蔵)	スポットネットワーク用 プロテクタヒューズ ティクオフヒューズ
		2,000, 3,000	50/60	200		
		4,000, 5,000				

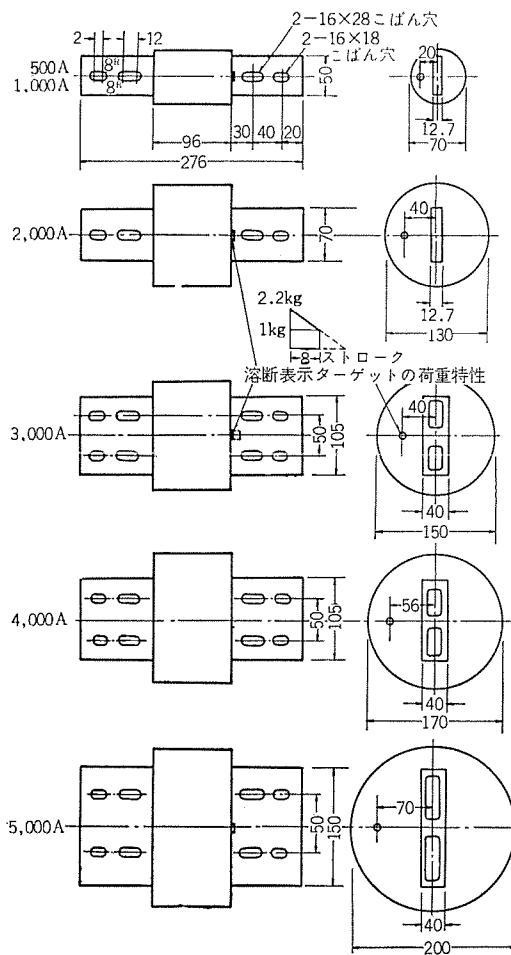


図 2.2 ヒューズリンク 外形寸法  
Outline dimensions of fuse link.

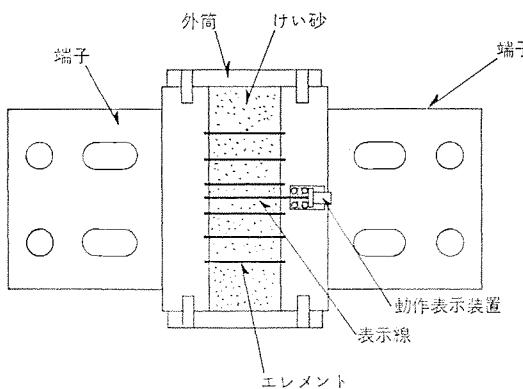


図 2.3 FLK 形限流ヒューズの内部構造  
Cutaway view of interior construction of type FLK current-limiting fuse.

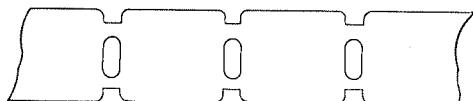


図 2.4 ヒューズエレメントの形状  
Shape of fuse element.

### 2.3 ヒューズリンクの構造

図 2.3 に FLK 形限流ヒューズの内部構造を示す。外筒には機械的・熱的にすぐれた性能をもつ特殊強化樹脂積層管を使用している。その内部には図 2.4 に示すような特殊形状をした良好な特性をもつ純銀製のヒューズエレメントを所要数配置している。このヒューズエレメントの周囲には、消弧剤としてすぐれた消弧能力を発揮する適當な粒度の高純度けい砂 ( $\text{SiO}_2$ ) が十分に封入され、両端が端子金具で完全密閉されている。また溶断表示装置として高抵抗の表示線をヒューズリンク内に張り、ヒューズリンクの溶断を外部に表示する構造となっている。この溶断表示ターゲットの突出力によりマイクロスイッチを動作させ、ヒューズリンクの溶断を検出することができる。

表示線は高抵抗であるため、常時の負荷電流はほとんどヒューズエレ

メントに流れている。しかし、過電流が流れヒューズエレメントが溶断発弧すると、次には表示線にも大きな電流が流れ溶断し、ばねによって表示ターゲットが約 10 mm とび出して確実に動作表示を行なう。

いうまでもなく、この砂入り銀エレメントの密閉構造ヒューズが、いわゆる限流ヒューズと称されるものである。もし、ヒューズがなかった場合に流れる回路固有の大きな短絡電流を、アーカ抵抗で制限して非常に高速度にしゃ断を行なう過電流保護装置である。

### 3. 準拠規格

FLK 形限流ヒューズは、設計方針となる日本電設工業協会技術資料 (JECA 67-5) 「スポットネットワーク受電設備技術指針」に基づき、現在制定されている限流ヒューズの規格 JIS C 8314, JEM-R 2040 に準拠した。

### 4. 特性

#### 4.1 短時間許容電流一時間特性

図 4.1 にこれを示す。これはヒューズにある電流を流したとき、ヒューズエレメントの温度が変質劣化点以下にとどまり、ヒューズ自身になんらの損傷・変化もなく安全に流すことができる電流一時間の限度を示すものである。とくに、ヒューズの無用な溶断を防止するためには、必ずこの短時間許容特性を考慮しなければならない。

#### 4.2 平均溶断電流一時間特性

FLK 形限流ヒューズの平均溶断特性を図 4.2 に示すが、この特性は「電設工業」昭 43 年 1, 2 月号に公表された「スポットネットワーク受電設備技術指針 (資料 JECA 67-5)」に基づき、新しく設計開発したものである。

この平均溶断特性は、常温 10~30°C において、ヒューズにあらかじめ負荷をかけないで試験したときの電流と平均溶断時間の関係を示すもので、ヒューズの場合必ずある範囲のばらつきをもったものと

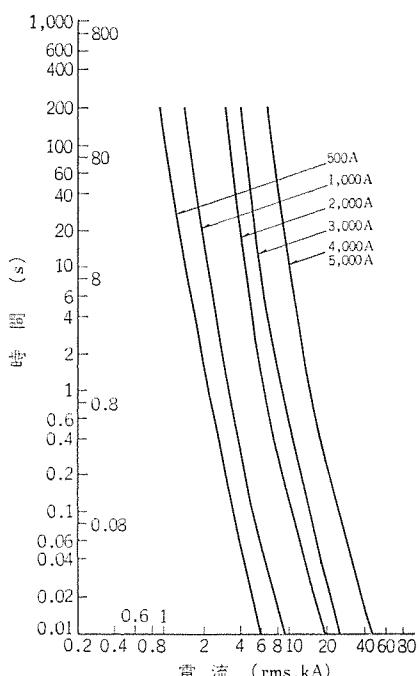


図 4.1 短時間許容電流一時間特性  
Short time rating time-current characteristics.

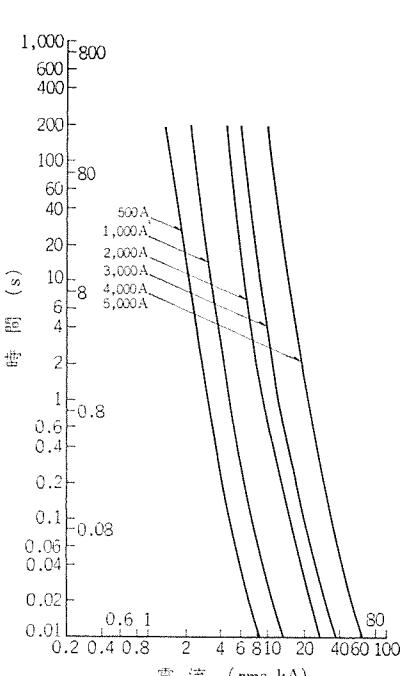


図 4.2 平均溶断電流一時間特性  
Mean melting time-current characteristics.

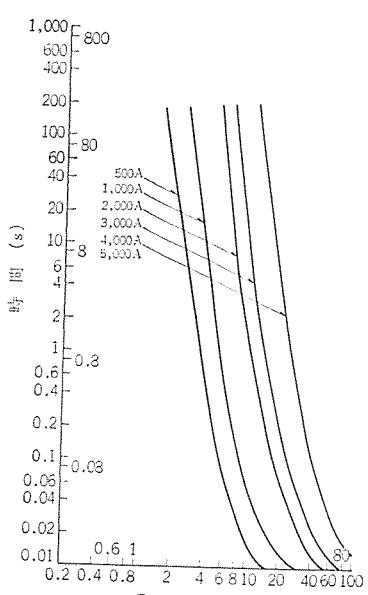


図 4.3 全しゃ断電流一時間特性  
Total clearing time-current characteristics.

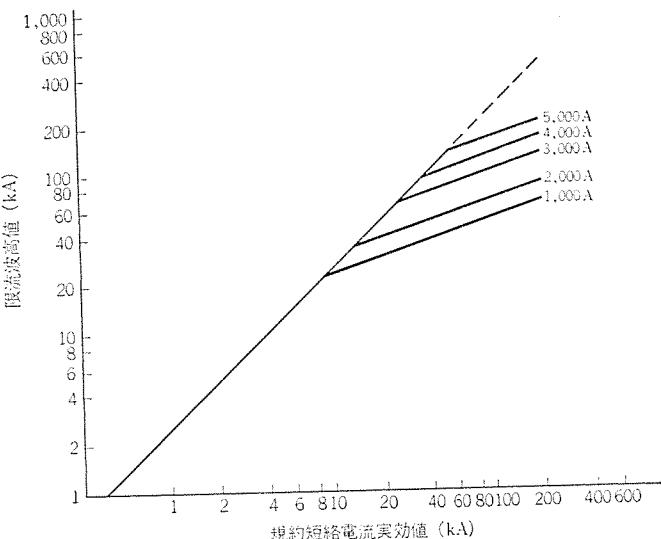


図 4.4 限流特性  
Current-limiting characteristics.

表 4.1 最大全しゃ断  $\int i^2 dt$  と平均溶断  $\int i^2 dt$   
Maximum total clearing  $\int i^2 dt$  and mean melting  $\int i^2 dt$ .

ヒューズ定格	平均溶断 $\int i^2 dt$ ( $A^2 \cdot s$ )	最大全しゃ断 $\int i^2 dt$ ( $A^2 \cdot s$ )
500 V 500 A	$0.64 \times 10^6$	$3.5 \times 10^6$
500 V 1,000 A	$1.54 \times 10^6$	$7.9 \times 10^6$
500 V 2,000 A	$5.32 \times 10^6$	$23 \times 10^6$
500 V 3,000 A	$9.63 \times 10^6$	$35 \times 10^6$
500 V 4,000 A 5,000 A	$28.3 \times 10^6$	$78 \times 10^6$

試験条件: 1φ 500 V しゃ断電流 SYM 200 kA

なる。そのばらつきの範囲として、FLK 形ヒューズは平均溶断特性の電流軸で  $\pm 15\%$  を保証している。

#### 4.3 しゃ断特性

##### (1) 全しゃ断電流-時間特性

最大溶断電流-時間特性にアーチ時間を加えた全しゃ断電流-時

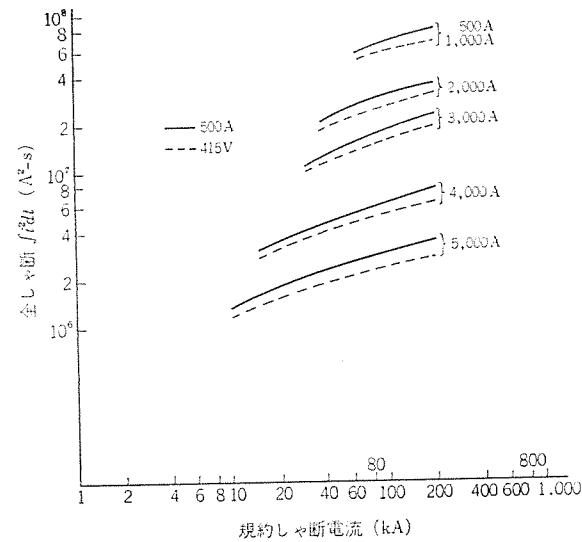


図 4.5 全しゃ断  $\int i^2 dt$  特性  
Maximum total clearing  $\int i^2 dt$  characteristics.

間特性曲線を図 4.3 に示す。この特性は、ヒューズ電流が流れ始めからしゃ断されるまでの最大実時間としゃ断電流の関係を表わす。

#### (2) 限流特性

図 4.4 に限流特性(最大通過電流特性)を示す。これはヒューズのしゃ断時における規約対称しゃ断電流とその最大通過電流の関係を示すもので、限流ヒューズ特有の効果的な特性であり、しゃ断試験における実測最大値をプロットしたものである。

#### (3) しゃ断 $\int i^2 dt$

ヒューズしゃ断時のしゃ断  $\int i^2 dt$  は短絡電流・回路電圧・短絡力率および発弧位相によりいちじるしく影響をうける。ここで発弧位相 65~90° 短絡力率 0.15 以下の条件におけるしゃ断試験結果から、試験回路電圧をパラメータとして規約短絡電流としゃ断時間中の通電電流の自乗の時間積分値、しゃ断  $\int i^2 dt$  の最大値をプロットした特性曲線を図 4.5 に示す。表 4.1 に最大全しゃ断  $\int i^2 dt$  と平均溶断  $\int i^2 dt$  を示すが、この溶断  $\int i^2 dt$  は 0.01 秒以下の微小溶断時間となるような大電流で、熱放散を考慮する必要のない範囲では一定値を示す。

表 4.2 FLK 形限流ヒューズしゃ断試験結果の一例  
Example of the result of interruption tests on type FLK current-limiting fuse.

試験番号	供試品の定格			試験条件と試験結果									
	電圧 V	電流 A	しゃ断電流 kA	試験電圧 V	短絡力率	規約しゃ断電流 kA	投入位相 deg	発弧位相 deg	最大通電尖頭電流 kA	過電圧波高値 V	動作時間 ms	溶断アーグ ms	しゃ断 ms
1	500	500	500	0.15以下	200	70	80	58	890	0.4	3.5	3.9	良好
2			500	0.15	27	0	78	30	990	3.6	3.6	7.2	良好
3			500	0.15	3.0	—	—	—	—	0.98 s	0.01 s	0.99 s	良好
4	1,000	1,000	500	0.15	200	65	78	80	910	0.5	3.7	4.2	良好
5			500	0.15	41	0	76	44	1,040	3.5	3.8	7.3	良好
6			500	0.15	6.0	—	—	—	—	0.23 s	—	0.23 s	良好
7	2,000	2,000	500	0.15	200	65	80	120	930	0.7	3.6	4.3	良好
8			500	0.15	82	0	78	92	975	3.6	3.7	7.3	良好
9			500	0.15	6.0	—	—	—	—	11 s	—	11 s	良好
10	500	3,000	500	0.15	200	48	81	144	860	1.5	4.1	5.6	良好
11			500	0.15	120	0	75	123	890	3.5	3.7	7.2	良好
12			500	0.15	9.0	—	—	—	—	7.5 s	—	7.5 s	良好
13	4,000	4,000	500	0.15	200	0	78	192	892	3.7	5.3	9.0	良好
14			500	0.15	27	—	—	—	—	0.38 s	8	0.39 s	良好
15			500	0.15	12.0	—	—	—	—	21 s	—	21 s	良好
16	5,000	5,000	500	0.15	200	0	79	197	920	3.8	5.1	8.9	良好
17			500	0.15	27	—	—	—	—	0.36 s	8	0.37 s	良好
18			500	0.15	15.0	—	—	—	—	4.2 s	—	4.2 s	良好

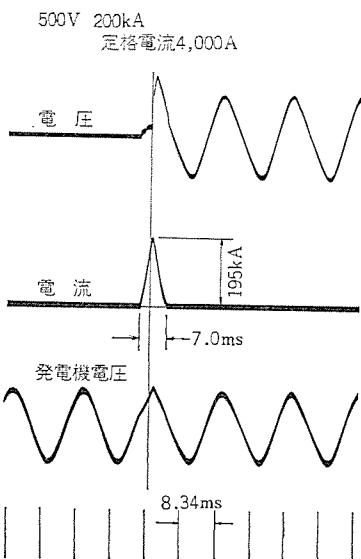
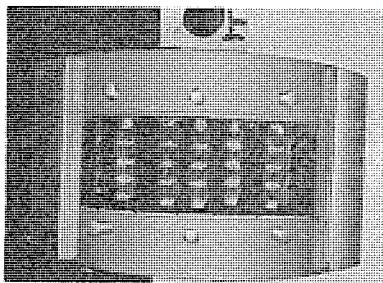
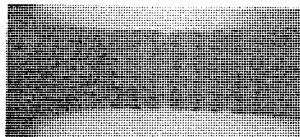


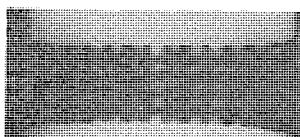
図 4.6 しゃ断オシログラム  
Oscillograms of current and voltage across current-limiting fuse.



(a) 定格電流 4,000 A, 500 V 200 kA のしゃ断後の写真



(b) 定格電流 4,000 A のしゃ断試験前のX線写真



(c) 定格電流 4,000 A 500 V 200 kA のしゃ断後のX線写真

図 4.7 しゃ断試験後の写真  
Photographs of fuse links after interrupting tests.

代表的しゃ断試験結果を表 4.2, 図 4.6 および図 4.7 に示す。しゃ断試験は当社伊丹製作所の大電力しゃ断試験設備を使用し, 500 V 200 kA までの大容量しゃ断性能の実証を行なったものである。

## 5. 適用

図 5.1 にスポットネットワーク単線結線図を示す。スポットネットワーク用ヒューズには使用場所により, プロテクタヒューズ (PRF) とテイクオフヒューズ (TOF) の2種類の名称があるが, これらのヒューズに適用される FLK 形限流ヒューズを表 5.1 に示す。

### (1) プロテクタヒューズ (PRF)

プロテクタヒューズは, ネットワークプロテクタの各相のしゃ断器とネットワーク母線間にしゃ断器と直列に接続され, プロテクタ以降の低圧側短絡事故の保護用, およびネットワーク変圧器の内部事故や変圧器の二次側とプロテクタ間ににおける短絡事故で, その逆電流がプロテクタのしゃ

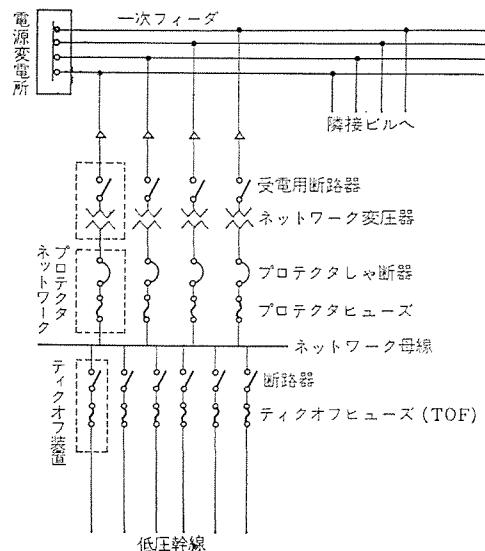


図 5.1 スポットネットワーク単線結線図  
Example of skeleton diagram for spot network receiving system.

表 5.1 FLK 形限流ヒューズ適用表  
List of recommendable type FLK current-limiting fuse for protector fuse or take off fuse.

ネットワーク 変圧器容量 kVA×台数	変圧器1台の 定格電流 A at 415 V	左記定格電流 ×130% A	プロテクタ ヒューズ 定格電流 A	適用可能なティクオフ ヒューズの定格電流 A
500×2	700	910	1,000	500, 1,000
1,000×2	1,400	1,820	2,000	500, 1,000
1,000×3	1,400	1,820	2,000	500, 1,000, 2,000, 3,000
1,500×2	2,100	2,730	3,000	500, 1,000, 2,000, 3,000
1,500×3	2,100	2,730	3,000	500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000
2,000×3	2,800	3,640	4,000	500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000
2,000×4	2,800	3,640	4,000	500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000

断容量以上に大きい場合の設備保護用として使用される。

### (2) テイクオフヒューズ (TOF)

ティクオフヒューズとは, ネットワーク母線から分岐する幹線の分岐個所に取り付けられ, 幹線以降での短絡事故はプロテクタヒューズより早く動作して幹線を保護するために使用されるヒューズである。

## 6. むすび

以上スポットネットワーク受電設備用限流ヒューズ FLK 形 500 V 500~5,000 A について紹介した。今後スポットネットワーク配電が数多く実施され, ますますこの種限流ヒューズの必要度が高まっていくことと思う。本報告をご参考のうえこの限流ヒューズをますますご愛用願いたい。

## 参考文献

- 岩崎, 小林, 岩崎(晴) : 三菱電機, 34, No. 11 (昭 35)
- 岩崎, 太田 : 三菱電機技術, 41, No. 11 (昭 42)

==== 最近登録された当社の実用新案 =====

名 称	登録日	登録番号	考 案 者	関係場所
グラブケットの開閉制御装置	44- 1-28	863989	武谷勝次	福岡製作所
防音変圧器	44- 1-28	863990	但馬常夫	伊丹製作所
プリント回路装置	44- 1-28	863991	蘭田常男	長崎製作所
可撓線の張力調節装置	44- 1-28	863992	影石為信・田中義昭	通信機製作所
冷蔵ショーケースの棚	44- 1-28	863993	〔山越明秀・内田富夫 高木昇〕	日建(共同)
換気扇	44- 1-28	863994	入沢淳三	中津川製作所
ズボン等の折目付け器	44- 1-28	863995	森本敏夫・鳥山建夫	群馬製作所
輸送機用引き戸の開閉装置	44- 1-28	863996	石川理一・新保松夫	本社
機器の収納箱	44- 1-28	863997	高江国雄	長崎製作所
ミシンの布送り装置	44- 1-28	863998	森田 稔	和歌山製作所
送風機の取付装置	44- 1-28	863999	牛越 謙	中津川製作所
内燃機関点火装置	44- 1-28	864000	日野利之	姫路製作所
ビデオテープレコーダの巻取装置	44- 1-28	864001	橋本公佑	通信機製作所
選択回路	44- 1-28	864002	川上 昭・中村信弘	通信機製作所
発熱体の取り付け装置	44- 1-28	864003	〔小林稚和・三ヶ田文彦 町原義太郎〕	群馬製作所
ロータリジョイント	44- 1-28	864004	伴 和絃	通信機製作所
機関点火用断続装置	44- 1-28	864005	大西正義	姫路製作所
機関点火時期調整装置	44- 1-28	864006	大西正義	姫路製作所
衣類乾燥器	44- 1-28	864007	馬淵公作・鶴谷嘉正	群馬製作所
衣類乾燥器	44- 1-28	864008	馬淵公作・鶴谷嘉正	群馬製作所
衣類乾燥機の水受装置	44- 1-28	864009	馬淵公作・鶴谷嘉正	群馬製作所
衣類乾燥機の水受装置	44- 1-28	864010	馬淵公作・鶴谷嘉正	群馬製作所
衣類乾燥器の物干機取り付け装置	44- 1-28	864011	馬淵公作・鶴谷嘉正	群馬製作所
衣類乾燥器	44- 1-28	864012	鶴谷嘉正・萩原 正	群馬製作所
蓄熱暖房器	44- 1-28	864013	赤羽根正夫・桜井信捷	群馬製作所
高圧水銀灯	44- 1-28	864014	山崎 均	大船製作所
往復型圧縮機	44- 1-28	864015	高田 宏・大石善堂	静岡製作所
保健器具の充電装置	44- 1-28	864016	〔木所正直・武井久夫 小川幹雄・小川昇 森本基・福田興司〕	群馬製作所
開閉装置	44- 1-28	864017	阪井秀雄・田中克房	伊丹製作所
避雷器自動切離装置	44- 1-28	864018	永井信夫・田口 修	伊丹製作所
直流電力供給源	44- 1-28	864019	岡上公彦	神戸製作所
直流電力供給源	44- 1-28	864020	岡上公彦	神戸製作所
クラッチ装置	44- 2- 3	864334	渡辺義彦	鎌倉製作所
時計装置	44- 3- 7	865601	神本明輝	福山製作所
電磁チャック	44- 3- 7	864602	首藤佑吉・伊藤瑛寿	名古屋製作所
電気のこ	44- 3- 7	865603	入江 厚・神信昭仁	福岡製作所
機関点火用信号装置	44- 3- 7	865604	川上達也	姫路製作所
内部冷却回転電機	44- 3- 7	865605	松尾 昇	神戸製作所
膨張式二気室救命胴衣	44- 3- 7	865606	大久保貴一	相模製作所
コード自動巻込装置	44- 3- 7	865607	霜田政雄・蟻川正吾	群馬製作所
刷子保持装置	44- 3- 7	865608	奥 勝	長崎製作所
照明器具	44- 3- 7	865609	金関 勇・岩沢 清	大船製作所
ズボン等の折目付け器	44- 3- 7	865610	森本敏夫・鳥山建夫	群馬製作所
アイロンベース	44- 3- 7	865611	荒木 熟・高橋 洋	群馬製作所
電熱器用シーザ管の取付装置	44- 3- 7	865612	近藤正司・小林稚和	群馬製作所
灯具吊下装置	44- 3- 7	865613	橋本武雄・鈴木 寒	大船製作所
変流器装置	44- 3- 7	865614	長野光佑	伊丹製作所
冷蔵庫の温度調節装置	44- 3-17	866576	木下忠男	静岡製作所
発熱体	44- 3-17	866577	中村富家・馬淵公作	群馬製作所
発熱体	44- 3-17	866578	中村富家・馬淵公作	群馬製作所
発熱体回路切換装置	44- 3-17	866579	武藤 正・小原英一	商品研究所



# 特許と新案

## 水銀放電灯

考案者 村井直道・土橋理博・若林正雄

この考案は、始動を容易にする始動装置を備えた水銀放電灯、特に図1に示すように電弧管8の電極の一方を主電極14と、これと直列な始動極15とで形成するとともに、この主電極と始動極との付勢回路を図2に示すようにバイメタル23を介して形成し、かつこのバイメタルの熱応動による上記付勢回路の開放により、加熱された始動極15と電弧管8内の他端電極11との間を、放電させることを特長とする水銀放電灯に関するものである。

従来、この種の水銀放電灯においては、バイメタルを外管1内に設けていたので、消灯後におけるバイメタルの冷却がおそく、したがって点灯中に一時的な停電により消灯した場合に、そのバイメタルがしばらく始動前の状態にもどらず、この間その再点灯をすることができない欠点があった。

この考案は図1に示すように、外管1の口金2の内壁面に熱伝的にバイメタル23を固定したので、この考案によれば、消灯後バイメタル23の熱は口金2から放出され、この結果バイメタル23はすみやかに始動前の状態にもどるので、上記再点灯もすみやかにできる効果をもっている。

(実用新案登録 第866590号) (村松記)

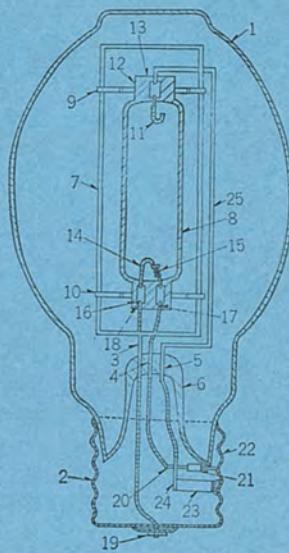


図1

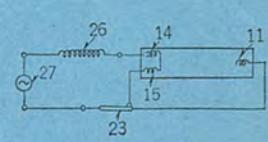


図2

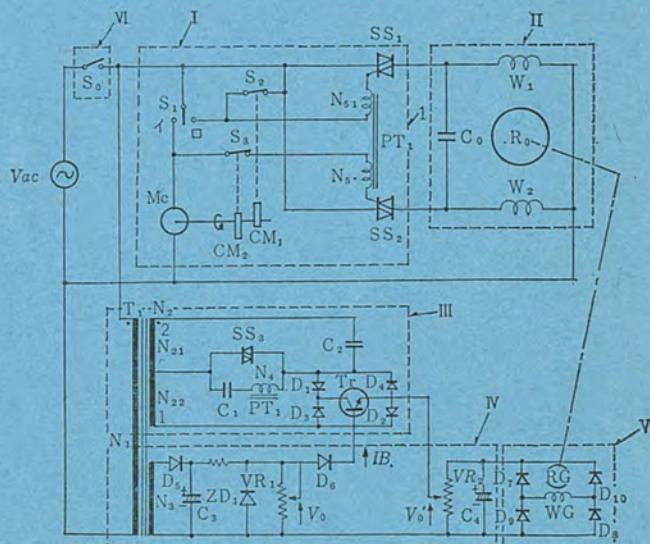
## 単相誘導電動機の速度制御装置

発明者 藤井学

この発明は、一方方向および正逆切換回転を行なう単相誘導電動機の速度制御に関するもので、可変直流基準電圧と電動機回転子速度に比例した直流電圧との差電圧で位相制御された点弧パルスで、二つの交流両方向性位相制御素子を駆動し、この両素子のゲート回路にそれぞれスイッチを設け、このスイッチの適当な開閉制御により電動機の単方向回転運転、可逆回転運転に無関係に連続した速度範囲の各速度で定速回転を可能にしたことを特長し、たとえば電気洗たく機に用いられる。

図に示す実施例について説明すれば、電源スイッチ  $S_0$  の閉成状態で、ゲート点弧パルス移相回路IIIからパルストラnsを介して、二つの交流両方向性位相制御素子  $SS_1$  および  $SS_2$  のゲート回路に、可変抵抗  $V_{R1}$  の設定位置に応じた位相で点弧パルスが加わる。この状態で切換スイッチ  $S_1$  を接点I側へ投入すると、カム駆動電動機  $M_C$  によってカム  $CM_1$  および  $CM_2$  が回転され、その結果、上記ゲート回路のスイッチ  $S_1$  および  $S_2$  が交互に開閉するので、位相制御素子  $SS_1$  と  $SS_2$  は交互に導通し、電動機IIは正回転と逆回転とを交互に繰り返す。またスイッチ  $S_1$  を接点II側へ投入しておけば、位相制御素子  $SS_1$  のゲート回路のみが閉路されるので、電動機IIは一方のみの回転

を行なう。また、パルス移相回路IIIのツーロン移相回路の一辺を構成しているトランジスタ  $Tr$  のベース電圧は、電動機IIの速度検出用発電機の出力電圧(帰還電圧)と、可変抵抗  $V_{R1}$  の出力側電圧(可変基



# 特許と新案

準電圧)との差電圧で制御されているので、電源電圧あるいは負荷変動にもとづく電動機IIの速度変動があった場合に、この変動を打ち消すように上記点弧パルスの位相が変化し、この結果、電動機IIの速度は可変抵抗VR1による設定速度に保たれる。以上のようにこの発明によれば、1方向回転、正逆切換回転に関係なく連続し

た速度範囲の各速度で定速回転が可能である。したがって、これを電気洗たく機の速度制御回路に応用した場合、多用化した洗たく物の種類に応じた設定速度が可能となり、きわめて効果的な洗たくが行なえるものである。

(特許第546757号) (村松記)

## 水銀放電灯

発明者 土橋理博・三上龍夫・若林正雄

この発明はタリウム、ナトリウム、インジウムおよびよう(沃)素を添加封入した水銀放電灯に関するものである。

従来より、水銀放電灯によう化タリウムおよびよう化ナトリウムを添加することにより、水銀放電灯の発光効率を上げることができ、さらにまた、これによう化インジウムを加えることによって、その演色性を改良できることが知られている。しかし、そのインジウムの添加量を増加するにつれて、放電灯の発光効率が低下するという欠点があった。また放電灯を長期間使用していると、ナトリウムが発光管内壁と化合し、したがってそのナトリウムと化合していたよう素が遊離し、このために放電灯の始動電圧が上昇するという欠点もあった。

この発明は、封入量が動作中に蒸発する量より多量に選定された

よう化タリウムとよう化ナトリウム、発光管内容積1cm<sup>3</sup>当たりの封入量が0.01~1mgに選定されたインジウム、このインジウムと化合し、そのほとんどをよう化インジウムとなしするように発光管内容積1cm<sup>3</sup>当たりの封入量が0.03~2mgに選定された水銀よう化物中のよう素、および上記よう化ナトリウムから生ずる遊離よう素の量と、上記水銀よう化物中のよう素の量とを合せた量のよう素と十分に化合しするように発光管内容積1cm<sup>3</sup>当たりの封入量が、0.05~5mgに選定されたタリウムをそれぞれ発光管内に封入し、かつ動作中の発光管最冷部の温度を580°C以上としたことを特長とするもので、この発明によれば、よう化インジウムの封入量にもとづく発光効率の低下、および遊離よう素にもとづく始動電圧の上昇の両方を防止できる効果を得るものである。

(特許第541799号) (村松記)

## 高圧水銀灯

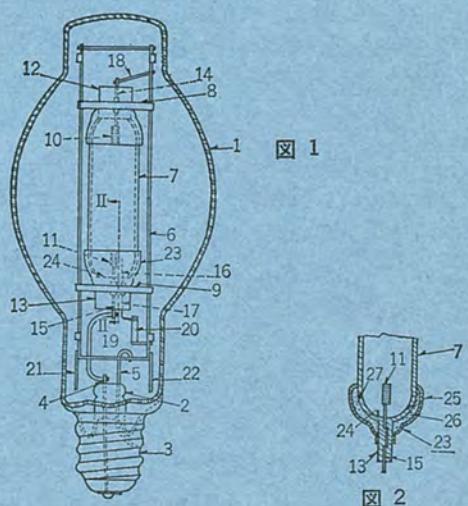
考案者 土橋理博・高井美則・橋本健一

この発明は図1に示すように、電弧管7とこの電弧管とを囲う保温用外管1とを備えた高圧水銀灯の構造に関するものである。

従来より、高圧水銀灯の電弧管内によう化タリウムなどの金属よう化物を添加することによって、その発光効率および演色性を著しく改善できることはよく知られているが、この金属よう化物を添加した高圧水銀灯をさらに高効率で働かせるには、点灯中において電弧管の最冷部となる部分の温度をできるだけ高くする必要がある。一般にこの最冷部は電弧管の管端部に存在するので、この発明は、電弧管に簡単な保温装置を取り付けることにより高効率な高圧水銀灯を提供するものである。

すなわち、この発明は、図1および図2に示すように電弧管7の両端部の外周壁に繊維径20μ以下の石英綿26を巻き付けて、その外側表面のみを焼き固めて保温おおい23を形成したことを特長とするもので、この発明によれば、点灯中に電弧管の最冷部分となる管端部の温度を高く保持することができ、したがって高圧水銀灯を高効率で点灯させることができる。

(特許第550198号) (村松記)



## MK形・SK形制御スイッチ

立石俊夫\*

## Type MK and SK Control Switches

Kobe Works Toshio TATEISHI

With the prevalence and development of automatized and rationalized facilities and machines of the industrial world, demand for control switches have increased a great deal. Also request for the improvement of performance, long life and high reliability for the resistance particularly against severe impact during operation has been made by all the users. On the other hand, for the purpose of installing a good many control switches on a limited space of panel because of becoming complicated electric power systems, super small sized control switches with the smallest occupying area are coming into strong demand.

To meet the desire type MK switches have been developed for the aim of high reliability and long life. While type SK switches for the purpose of minimizing the sizes. This article describes problems concerning the above.

## 1. まえがき

産業界の設備、機械の自動化、合理化などの普及発達にともない最近の制御スイッチの需要の伸びにはいちじるしいものがある。

一方これらの機械、装置の複雑、高度化にともない制御スイッチ類も当然高性能化、高信頼性が要求される。とくに製鉄向けに使用される制御スイッチは操作ひん度が激しく、操作時の激しい衝撃に十分耐える長寿命の制御スイッチが要求される。また一方、最近の電力需要の増加と、それにともなう電力系統の複雑化のため、配電盤により多くの制御スイッチを収納させうる目的から、占有面積の小さい超小形制御スイッチの要望が強い。

今回これらの要望にこたえるため、過去の経験、製作実績を生かして、機械的寿命 500 万回、電気的寿命 50 万回を目標とした MK 形制御スイッチ。超小形制御スイッチを目標とした SK 形制御スイッチの開発を計画し、試作、試験および検討をすすめ初期の目的を達成し、ここに新しく製品化した。以下この開発にあたっての考え方、長寿命化、超小形化のための特有の問題点および試験結果について紹介する。

## 2. 仕様および定格

この開発にあたっては、「操作時の耐衝撃」「接触信頼度の向上」

「長寿命」「接点構成の点検容易」などを重点目標とした。また部品は、電気的絶縁、耐摩耗、生産性の向上をねらって大半はモールド部品とした。また動作の円滑性をねらってしゅう（摺）動子はローラ式を採用した。なおモールド部品の樹脂材料の選定にあたっては種々組み合わせ試験を行ない、試験結果を検討のうえ最適な樹脂材料を選定した。

準拠規格としては、次に掲げるものなどにより種々の試験、検討

表 2.1 定格と性能  
Ratings and characteristics.

形名	定格電圧 (V)	定格電流 (A)		連続通電 容量 (A)	適用規格	性能
		交流 (力率 0.3~ 0.4 逆)	直流 (時定数 40 ms)			
MK	48	—	6	20	JIS-C 4503 JEM-1138	1号1種
	110	15	1.5			
	220	10	0.8			
	450	5	—			
SK	110	5	0.5	5		1号4種
機械的寿命		MK	500万回以上			
		SK	25万回以上			
電気的寿命		MK	各定格電流の5倍投入、1倍しゃ断で50万回以上			
		SK	各定格電流の5倍投入、1倍しゃ断で5万回以上			
回路しゃ断電流容量		MK・SK	各定格電流 AC 10倍、DC 4倍、投入しゃ断20回以上			

表 2.2 MK, SK 形スイッチ

Type MK, SK switches.

形名	ノッチ角度 90°	ノッチ角度 45°				ノッチ角度 30°	段数	機能
MK-T							2~7	切換スイッチ
MK-C							2~7	スプリングリターン
SK-T							2~6	切換スイッチ
SK-C							2~6	スプリングリターン 赤緑信号灯付き
SK-P2							2~6	スプリングリターン 赤緑信号灯 押しボタン付き
SK-P3							2~6	スプリングリターン 赤緑白信号灯 押しボタン付き

を加えた。

JIS-C 4503

交流電磁開閉器操作スイッチ

JIS-C 4504

誘導電動機のじか入れ起動開閉器通則

JEM-1138

直流電磁接触器

JEM-1969(案) 割り用操作スイッチ

おもな問題点として、MK形制御スイッチについては、操作時の耐衝撃に対する機構、機械的500万回以上の保証と電気的50万回以上を保証できる定格電流を定めた点。SK形制御スイッチについては、外径を縦40mm横35mmの腕時計大の大きさに縮少した点、またこの外径内で3個の信号灯を収納し、かつ表面から電球の交換可能

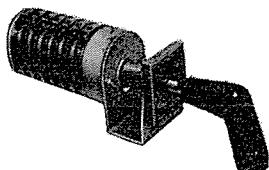


図 2.1 MK-C形制御スイッチ外観  
Appearance of the MK-C control switch.

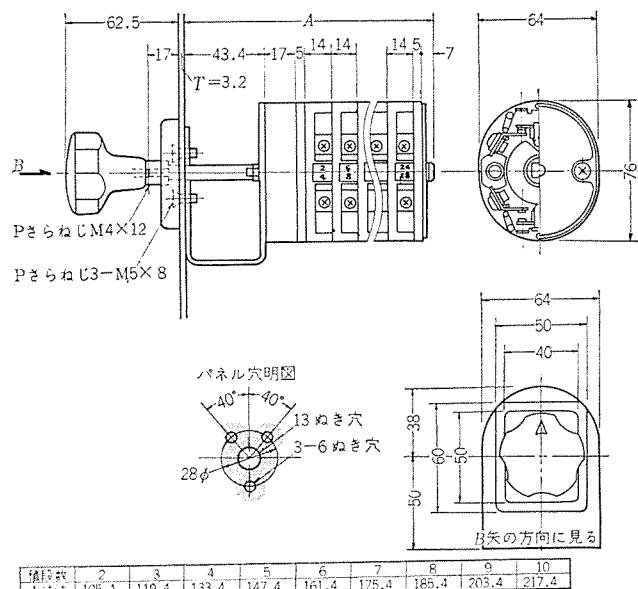


図 2.2 MK-T形切り換えスイッチ外形  
Out-line of the MK-T control switches.

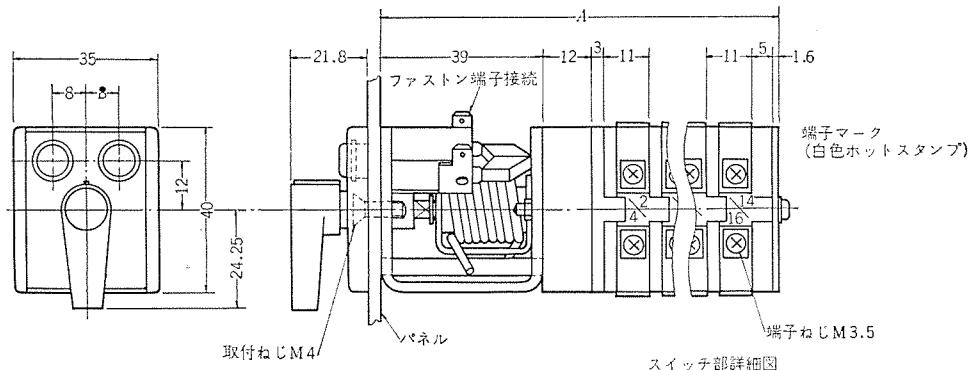


図 2.3 SK-C形制御スイッチ外形  
Out-line of the SK-C control switches.

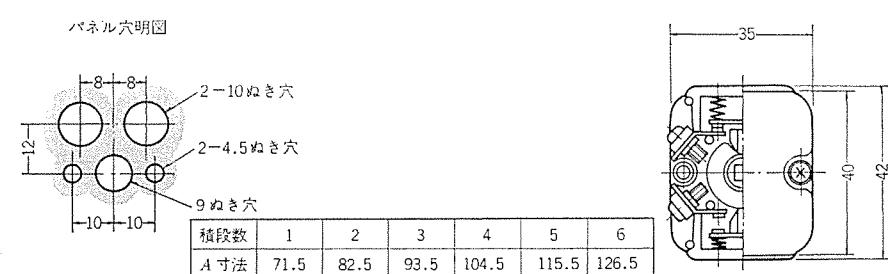


図 2.4 SK-T形切り換えスイッチ外観  
Appearance of the SK-T changeover switch

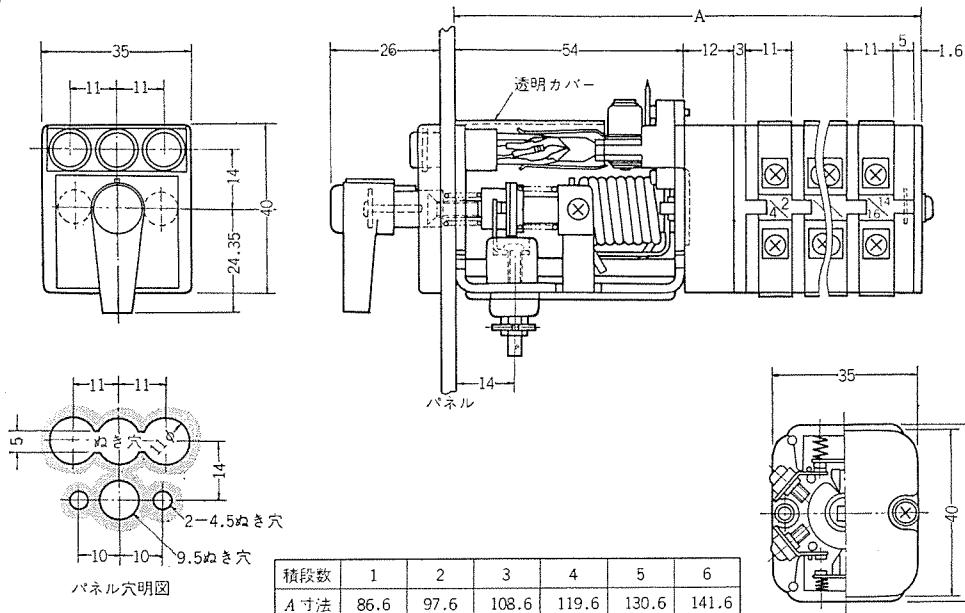


図 2.5 SK-P3形制御スイッチ外形  
Out-line of the SK-P3 control switches.

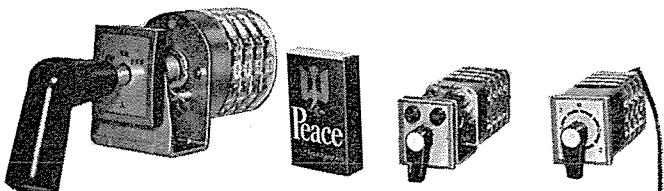


図 2.6 MK, SK 形制御スイッチ外観  
Appearance of the MK, SK control switches.

とした点。また両者とも接点構成の点検が外部から目視可能とした点などである。

製品のシリーズとしては需要家の幅広い要求に応じられるよう、表 2.1 に示す定格電流とし、さらに MK 形では 12 ノッチの多段切り替えの機種。また SK 形では信号灯付と左右捻回に加えて押し操作のできる機種もそろえて表 2.2 に示すように機種の充実をはかった。

MK-C 形 制御スイッチの外観を図 2.1 に、MK-T 形切り替えスイッチの外観図を図 2.2 に、SK-C 形制御スイッチの外観図を図 2.3 に、SK-T 形切り替えスイッチの外観を図 2.4 に、SK-P 形制御スイッチの外観図を図 2.5 に、MK 形 SK 形の外観を図 2.6 に示す。

### 3. 構造および特長

操作方式はカムの回転により接点が閉鎖するカム式のスイッチとした。回転方向に対する機械的強度をねらって操作軸は角材の通しシャフトとし、カム、操作範囲を規正するストップおよびとてはこの角シャフトに直接(かんそう)嵌挿している。操作軸の軸受は各積段数ごとにカムが軸受して接点ケース上に操作軸を支承している。端子は接点ケースの両側面に配設している。また必要に応じ端子を上下方向に誘導する継端子片も準備している。

#### 3.1 接点ケース

外部から接点構成の点検を容易にするために図 3.1 に示すように接点ケース上下に透明なキャップをかんそうした。

#### 特長

(a) アークで透明部が汚損するようなことがあっても、接点ケースはそのままで透明なキャップのみ交換できる。

(b) ばねの装脱操作がきわめて簡単である。SK 形のように超小形のものは、接点ケース内にばねを装着する操作はばねが飛びだしやすくて困難である。したがって図 3.1 に示すように透明なキャップ上にばねを固定させたばね付きキャップとしている。このばね付きキャップは、接点ケースを積段して組み立てられたあとでも自在に装脱することができる。すなわち組み立て後、一番最後に透明なキャップを接点ケースにかんそうすればばねも同時に装着できる。ばねが飛びだす心配もなくばねの装脱操作はきわめて簡単である。

(c) 透明なキャップは外部からじんあいがはいらないよう閉閉接点部を閉鎖している。

#### 3.2 接点

接触子の運動形式は図 3.2 に示すようにころがり接触形式とした。ころがり接触をさせることにより接点を明確にし、接触圧力を実質的に高め、接点表面に付着する絶縁物、微細なごみ、モールド粉末、表面被膜をセルフクリーニングする接触機構を採用し接触度の信頼性向上をねらった。

#### 3.3 ラチェット

各ノッチでロータを停止させる図 3.3 に示すラチェット機構は、合成樹脂の特性を駆使してすべてモールド部品とした。しゅう動部分は、

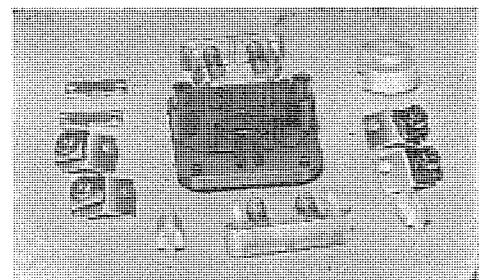


図 3.1 SK 形接点ユニット  
Type SK contact unit.

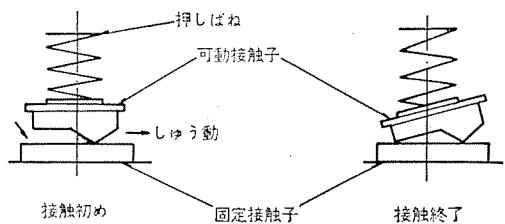


図 3.2 接点  
Contact.



図 3.3 ラチェットユニット  
Ratchet unit.

ローラ機構をとりいれ、円滑な動作と歯切れのよい操作感覚をもたせるため 4 個所にローラとばねを配設した。

問題点としては、ロータを確実に停止させるためローラを押圧するばね圧が相当強くなりしゅう動部の摩耗、ローラ軸の折損などの問題がある。この部品の樹脂選択にあたっては、数回にわたる樹脂材料の変更を行ない組み合わせ試験を繰り返し決定した。

たとえば耐摩耗樹脂としてすぐれているナイロン 66 樹脂を例にするとローラとローラ受台ともナイロン 66 にした場合 50 万回でローラ受台が先に摩耗する。これをローラ受台をポリアセタール樹脂とした場合 500 万回においても摩耗は両者ともほとんど認められない。これは 2 者の組み合わせであるが、これが 3 者、あるいは 4 者の組み合わせとなると樹脂選択ははなはだ困難となる。すなわち種々材料を変えて組み合わせ試験の結果をまつより方法がない。

このラチェットは 4 者の組み合わせでそれぞれ運動方向を異にしており、繰り返し試験の結果、ローラをポリアセタール、受台をナイロン 66、カムをガラス入りナイロン 6、ラチェットケースをガラス入りナイロン 6 とした。

#### 3.4 スプリングリターン機構

取り付けわくは図 3.4 に示すように U 字形をしており、U 字形の前方にはパネル取り付け用のねじ穴があり、後方にはロータ締付け用のねじ穴と、鋼板の 1 部を打ち出した回り止め用の突起片が配設している。

スプリングリターン装置の場合には、この U 字形内部に腕金とひねりばねを装着される。スプリングリターン装置はとくに使用ひん度の高い機種である。とくに MK 形の場合、柄の長いとての先端をたたくようにして操作されることもあるので、操作時の衝撃は非常に大きい。

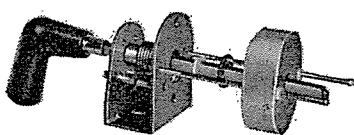


図 3.4 スプリングリターン機構  
Springreturn mechanism.

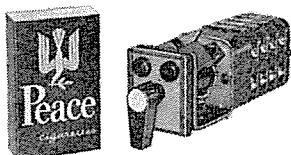


図 3.5 SK-C 形制御スイッチ外観  
Appearance of the SK-C control switch.

したがってこの衝撃に耐えるためには、操作範囲を規制する回り止め装置はじょうぶなものが必要である。3.2 mm の鋼板の1部を打ち出し、この突起片にストップ座金が衝合して回り止めを行なう構造となっている、このストップは 270 kg-cm のトルクに耐えるよう設計されている。

### 3.5 信号灯

信号灯2個付きのSK-C形制御スイッチの外観を図3.5に示している。このスイッチはスプリングリターン装置を備え、縦40 mm 横35 mm の大きさの中にネオン信号灯が収納されている。

電球は電話交換機式のネオン電球を使用しており、表面から電球の交換は可能である。信号灯の端子の接続方法は装着自在なファストン端子を使用した。またこの信号灯はネオン電球ではなく、一般的の2号交換機電球(定格18 V 2 W)を使用しても温度上昇による部品の変形、焼損の心配がないよう耐熱性のよいポリカーボネイト樹脂部品としている。また電球交換操作を容易とするため、電球の引き抜き工具も準備している。

## 4. 寿命

試験はJIS規格によって実施しているが、その判定は次のような基準によっている。

### (1) 電気的寿命

- (a) 接点の消耗……接点の最大消耗量は新品の70% 重量以下
- (b) 耐電圧……電源-負荷および異極端子間 AC 2,000 V 1分間
- (c) 絶縁抵抗……電源-負荷および異極端子間 DC 500 V 絶縁メガで 1 MΩ 以上

### (2) 機械的寿命

- (a) 機械的衝撃による構造物の破損……モールド、回り止め装置ハンドルなど

- (b) 機械的摩耗および疲労による動作不良……モールド、しゅう動部ばね類の疲労など
- (c) 機械的摩耗によるオーバトラベルの減少 40% 以下

### 4.1 電気的寿命

JEM-C 4503 規格に準拠し、MK形においては前提の表2.1定格と性能に示す1号1種に合格する。SK形においては1号4種に合格している。なおSK形においては引き続き1号2種の試験を以下続行中である(機械的寿命 250万回、電気的寿命 25万回)。

### 4.2 機械的寿命

機械的寿命の試験においては、開閉ひん度1,200回/hとした場合、500万回に達するには数ヶ月を必要とするので、過酷な試験を承知で3,800回/hの開閉ひん度で試験を行なった。そのため試作初期には、ラチエット機構のローラ軸の折損、しゅう動部分の摩耗、ばねの折損などが発生したが、種々の合成樹脂の材料および形状を変更し、幾度も試験をくりかえした結果500万回の性能を確立させた。

### 4.3 耐振動

車軸、プレス機械などのように振動する場所に取り付けられると、接点がチャタリングして、電気的誤動作やねじのゆるみ、構造部品の破損などひき起こす場合がある。振動試験方法ではJES-E 4031鉄道車両用の規格があり、この規格の振動耐久試験の3種にMK形は合格する。

## 5. むすび

MK、SK形制御スイッチの「操作時の耐衝撃」、「接触信頼度の向上」、「長寿命」、「接点構成の点検容易」の主題を中心として開発方針、構造および特長、試験、寿命など述べたが一応初期の目的は達成した。SK形の小形スイッチに対しては、機械的250万回以上、電気的25万回以上を今後の目標として目下試験中であり、いずれあらためて性能結果を発表したいと考えている。

現下の制御スイッチは単に回路を入・切するだけでなく、使用される場所に適応した形態が要望される。この開発は一見特殊なケースのようにみえるが、今後の市場の動向として必要な機種であると確信している。なお、信頼度に関して制御スイッチは、自動的に動作する機種と異なり手動で操作されるため、操作は確実に所定の位置まで回していくことが機種の信頼度を高める重要な条件である。また組み換えはメーカーに一任させていただきたく、適宜解体されることは信頼度に影響することが多くさせていただきたい。

制御スイッチの故障発見は他の機器、回路などとの関連もあり時間がかかる。本開発での透明化はこの点を重視している。

今後さらに実用面、応用面で得られた種々の成績と実績により、より信頼性のすぐれた制御スイッチとして改善を計り、ユーザ各位の期待にそいたいと考えている。

# 中部電力高根第一発電所100,000 kVA/100,000 kW 発電電動機および運転制御装置

森 与志彦\*・石 井 明\*  
山 本 潤 二\*\*

## A 100,000 kVA/kW Generator-motor and Control Equipment for Takane Pumped Storage Power Plant No. 1

Kobe Works Yoshihiko MORI・Akira ISHII  
Head Office Junji YAMAMOTO

The generator motor described herein is a pumping up machine directly coupled to a Deriaz type pump turbine of the largest capacity in the world. Starting of the generator motor is of a damper winding starting type, but to limit the starting input low reduced voltage starting is especially employed with tertiary windings of the main transformer. This is the first machine built by Mitsubishi for a pumped storage power station, being our largest record product as a self-starting synchronous motor. Prior to the construction, various studies were conducted and the results were taken up to design the machine with meticulous care. The article gives brief explanation on the construction and the operation control system, also introducing the salient points of the operation results.

### 1. まえがき

高根第一発電所は、世界最大容量のデリヤ形ポンプ水車4台からなる総出力340,000 kWの大容量揚水発電所である。当社は、このポンプ水車2台（3号機および4号機、製作は三菱重工担当）に直結される発電電動機を製作納入した。この発電電動機は、電動機起動時に制動巻線により自己起動を行なう方式であるが、とくに起動入力を低く抑え系統の電圧変動を極力小さくするため、起動電圧は定格電圧の約38%の5,000 Vが選定採用された。このため電動機の起動特性には、細心の注意を払って設計計画が行なわれ、最終的に圧縮空気による水面押下げ、低減電圧における同期化後に全電圧に切り換える方式とすることが決定された。いうまでもなく本機は、当社初めての揚水発電機器であり、また自己起動を行なう同期電動機としても最大容量の記録品である。このため実機製作に先立って、モデル磁極を製作し制動巻線の熱的な挙動を調査検討するとともに、巻線構造や材質およびタンパ電流分布等についても試験研究を実施した。このほか本機は発電電動機として高速大容量機であり、かつデリヤ形ポンプ水車直結であるため、フレームブラケットなどのおもな軸受支持部は横方向ばかりでなく、縦方向にも十分な剛性をもつものでなければならない。このため構造上多くのくふうを払った。このほかいろいろな特長をもつ発電電動機であるので、44年11月運転開始を機会にその概要を紹介し、あわせて現地試験結果のおもなものについても記述してご参考に供したい。

### 2. 発電電動機

#### 2.1 仕様

発電電動機のおもな仕様は、次に示すとおりである。

	発電機	電動機
出力	100,000 kVA	100,000 kW
電圧	13,200 V	13,200 V
電流	4,374 A	4,472 A

周波数	60 Hz	60 Hz
回転速度	277 rpm	277 rpm
力率	85%おくれ	100%
はづみ車効率	3,210 t-m <sup>2</sup> 以上	
短絡比	1.0 以上	
形 式	立軸普通形回転界磁全閉内冷式 (空気冷却器付き)	
励磁方式	320 kW-440 V 回転励磁機 マグアスコット AVR 付き	

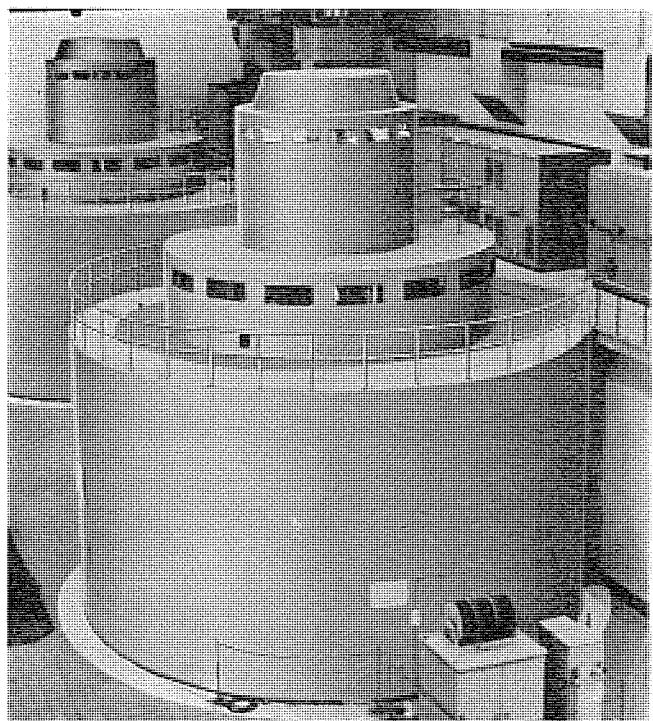


図 2.1 発電電動機全景  
Generator-motor.

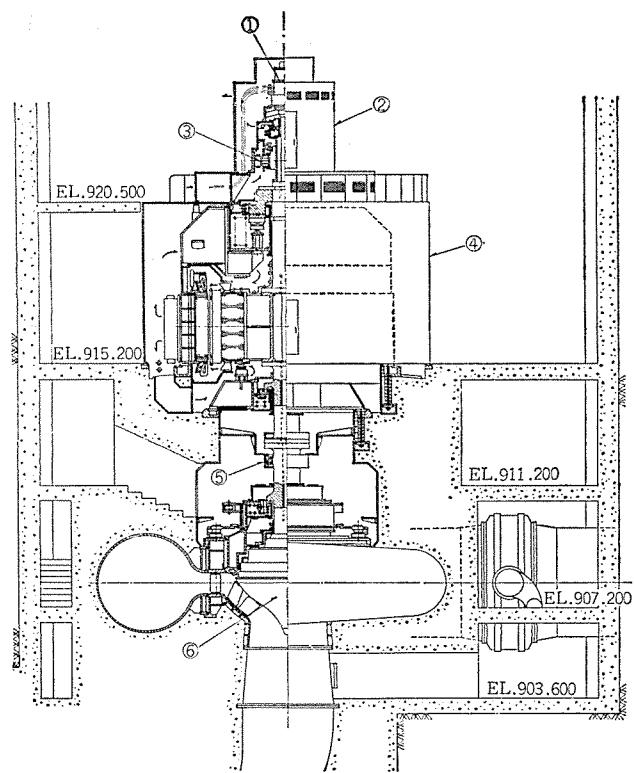


図 2.2 揚水発電機器断面  
Cross section of generator for pumping up power plant.

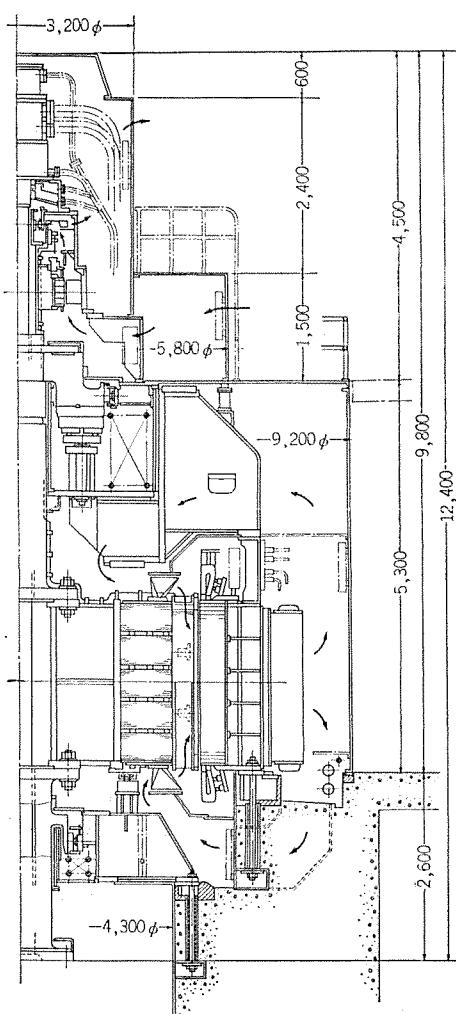


図 2.3 発電電動機組立断面  
Assembly drawing of generator-motor.

### 電動機起動方式

低減電圧 (5,000 V) 制動巻線起動

低減電圧同期引入後全電圧切り換え

### 2.2 構造概要

本機の全景写真を図 2.1 に、発電電動機およびポンプ水車の縦断面図を図 2.2 に、発電電動機の組立図を図 2.3 に示す。図 2.2において、①は圧油導入装置、②は化粧カバー、③は回転励磁機、④は発電電動機風道、⑤は軸下り検出計、⑥はポンプ水車ランナを示す。

#### 2.2.1 固定子

固定子は輸送上の制限により 4 分割されているが、固定子上部の上ブレケット台もさらに分割構造とした。分割構造による剛性の低下を防ぐために、これらの縫目結合ボルトはとくに大形強力なものとした。固定子鉄心は高級冷延けい素鋼板を使用し、扇形状に打ち抜いたものをさらに両面ワニス焼き付けを行ない、一層ごとに 1/2 セグメントずらして積層したものである。磁気音の発生を極力防止するために、鉄心締付ボルトの本数を通常の発電機より多目とし、締付圧力をあげている。分割固定子の接合面には、適当な絶縁ライナをそう入し、所要の接合圧力を得るよう考慮した。フレームは縦方向および横方向剛性の高いものとし、振動の抑制に十分注意した。とくに空気冷却器の取り付け面の開口部は、大きく剛性を低下させるため、通風を邪魔することなく所要の剛性を得るよう、効果的な補強を行なっている。

固定子巻線はワントーン、ハーフコイルで波巻構造とした。絶縁はダイヤレジン含浸の B 種絶縁である。そのすぐれた性能は、揚水発電機のように起動停止のひんぱんな、過酷なヒートサイクルのもとで長年月の使用に十分耐えるものである。コイルエンドのつなぎ部には、可とう(撓)性のある絶縁キャップをかぶせ、その内部に自然硬化レジンを注入して固めている。またコイルエンドのコイル相互間のスペーサとして、ダクロンマットを使用した。これはポリエチル繊維からなる不織布(フェルト)に、自然硬化性のエポキシレジンを含浸させたものである。そう入する場合は、自由に折り曲げができるし弾力性もあるため、そう入部のすき間に十分密着させて取り付けることができる。したがって作業性も良い。いったん硬化すれば、スペーサとして十分な強

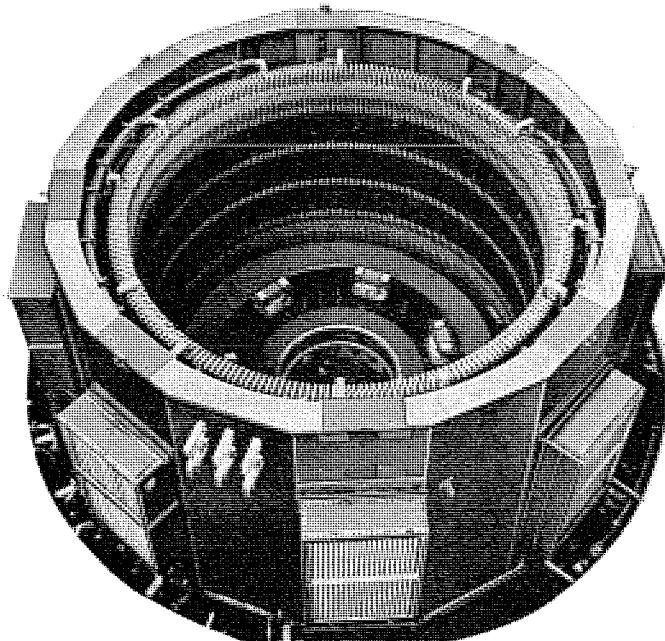


図 2.4 発電電動機固定子  
Stator assembly of generator-motor.

度を有する画期的なものである。これらの新技術を採用した結果、コイルエンドは非常にすっきりした、簡潔でしかも丈夫な構造することができた。図2.4に工場完成した固定子を示す。

固定子台床はソールプレート式で、基礎コンクリートにはボルトにより強固に保持されている。

### 2.2.2 回転子

主軸は、鍛鋼製の上部軸および下部軸の鋼板溶接構造のスピダボスの三者からなるいわゆる三分割構造である。そのカップリング部には、ポンプ水車の水圧推力のほか回転子の自重も加わるため、特殊鋼製の強力なボルトにより一体とした。発電所への搬入も分割状態で行なわれるため、軸の直線度が工場および現地で正確に再現されるよう考慮した。鍛鋼製スラストカラーの主軸の結合は、当社独特のクランプバー方式を採用している。これはてこの原理を利用して、スラスト軸受荷重に匹敵する初圧でスラストカラーと主軸とを圧着させるものである。このため、推力荷重が変動しても主軸とスラストカラーの当たりの変化することなく、運転中安定したバランス性能を確保することができる。

回転子リムは、高抗張力薄鋼板から打ち抜かれた扇形片の積層構造である。積層方向に4個の通風ダクトを設け、固定子鉄心中央部にも冷却風が十分ゆき渡るようにしている。積層リムは、上下の端板を介してボルトおよびナットで一体に締付けられている。スピダボスと回転子リムとの結合には、これも当社独特のスプリングキーを使用した。これはキーのばね作用を利用し、運転中でもボスとリム間の締付け力を保持するようにしたのである。

磁極鉄心は薄鋼板積層構造で、両端に鍛鋼製端板をあてボルトおよびナットで一体としている。磁極頭部には、多数の円形状制動巻線導体を埋め込んでいる。特に本機は、制動巻線の発熱量が大きいため、導体と鉄心との熱伝導を良くするように特殊な加工を施している。制動巻線導体として、慎重検討の結果約 $19 \mu\Omega\text{-cm}$ の高抵抗銅合金を採用した。磁極端部の短絡セグメントは、機械的性能にもすぐれた低抵抗の特殊銅合金を採用し、制動巻線導体との接着には高周波ろう付け法を採用したほか、構造上および加工上細心の注意を払った。セグメントの極間接続には、十分な可とう性をもたせた薄鋼板積層構造のコネクターを採用した。コネクターとセグメントとの接続に万全を期すため、コネクターを分割構造としボルトおよびナットにより十分な接触面圧を高温時にも維持するとともに、コネクターの冷却効果も高めるようにした。

界磁巻線は、平角鋼帯を平打ち巻にし層間絶縁にアスペスト紙、対地絶縁にフレキシブルマイカおよびテトロン布を使用している。また上下の絶縁ワッシャには、電気的機械的および熱的な性能のすぐれた合成樹脂積層板を使用し、さらに最下部にはスプリングワッシャを設けている。コイルブレースは、2個設けて巻線の変形を防止している。

冷却ファンは、鋼板溶接構造のパドル形直角達心ファンである。羽根は1枚1枚取りはずしができる。通風ガイドは、固定子エンドペルを延長して構成した。工場試験時に、固定子鉄心背部の各通風ダクトの風速分布を測定し、鉄心中央部でも十分冷却風がゆきわたっていることを確認した。

分割形の鋼板製ブレーキングを、ボスおよびリム下面に取り付けている。そのしゅう(摺)動面は、局部的な過熱を防止するために精密仕上げされている。ひんぱんなブレーキ使用に耐えるよう、ブレーキングは温度上昇による伸びを拘束しない構造としている。

現地においてつり込み作業中の発電電動機回転子を図2.5に示す。

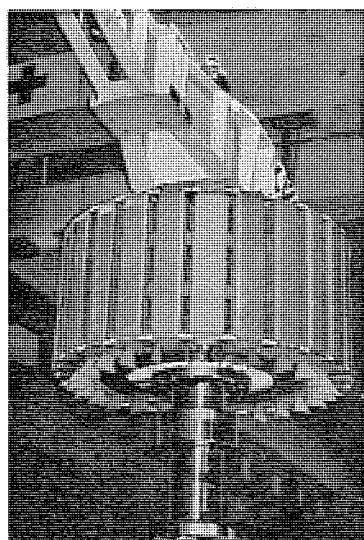


図2.5 つり込み中の発電電動機回転子  
Generator-motor rotor

### 2.2.3 軸受

可逆回転機であるためスラスト軸受、上および下振止め軸受(いすれもセグメント形)とも中心支持方式である。スラスト軸受は、大容量高周速であるため詳細設計に先立って、当社の3,000トンスラスト軸受試験装置により、各種の性能確認試験を行ない、その成果を適用した。

スラスト軸受パッドの支持には、当社独自の3-DISC方式を採用し、たわみの最適化をはかっている。12枚のパッドの荷重分担を均一にするために、各ピボットの下に圧縮管を設けた。この圧縮管の圧縮たわみはスラスト荷重に比例し、外部から精密ダイヤルゲージで直接測定できるので、正確な荷重分担を容易に実現することができる。

デリヤ形ポンプ水車であるため、万一の軸受焼損時においても軸系の許容沈下量が制限される。このため本機では、スラストパッドのホワイトメタルの厚みを2.5mmとした。この厚みは、この種の大容量スラスト軸受としては小さいが、当社では数年前から従来のアリミジによる接合方式を廃止し、パッド裏金とホワイトメタルとの治金学的接着方式を確立したので、これが可能となった。なおホワイトメタルの摩耗から考えると、起動ひん度の非常に激しい機械でも10年間で最大0.2mm程度であり、さらに本機のようにオイルリフト装置付きのものは、ほとんど摩耗量はなしに等しく、また異物の埋込性能から考えても2.5mmのホワイトメタル厚みは十分と考えられる。

スラストパッドの間には、油かきを取り付けてスラストランナ表面に付着した高温油膜をかき落とすようにして、軸受温度の低下をはかっている。軸受周速は約35m/sと高いので、上振止め軸受部分における油のあわ立ちを防止するため、振り止め軸受部分を仕切って油を充満させる構造とし、そこへスラストカラーおよびランナに設けた達心ボンプにより油を送り込むようにした。油冷却器は、スラスト軸受の外径側に水冷銅管を渦巻状に配置したもので、その冷却能力に余裕をもたせて軸受の信頼性を高めるようにした。

本機は、前述のように低減電圧の制動巻線起動であるため、特に回転始めのスラスト軸受摩擦トルクを低く抑える必要がある。このため油圧および油量とも十分余裕のある強力なオイルリフト装置を設けた。またオリフィスの点検が容易にできるようにしたが、万一オリフィスに故障が生じた場合、どのオリフィスが悪いかは前述の圧縮管の挙動で判定することもできる。

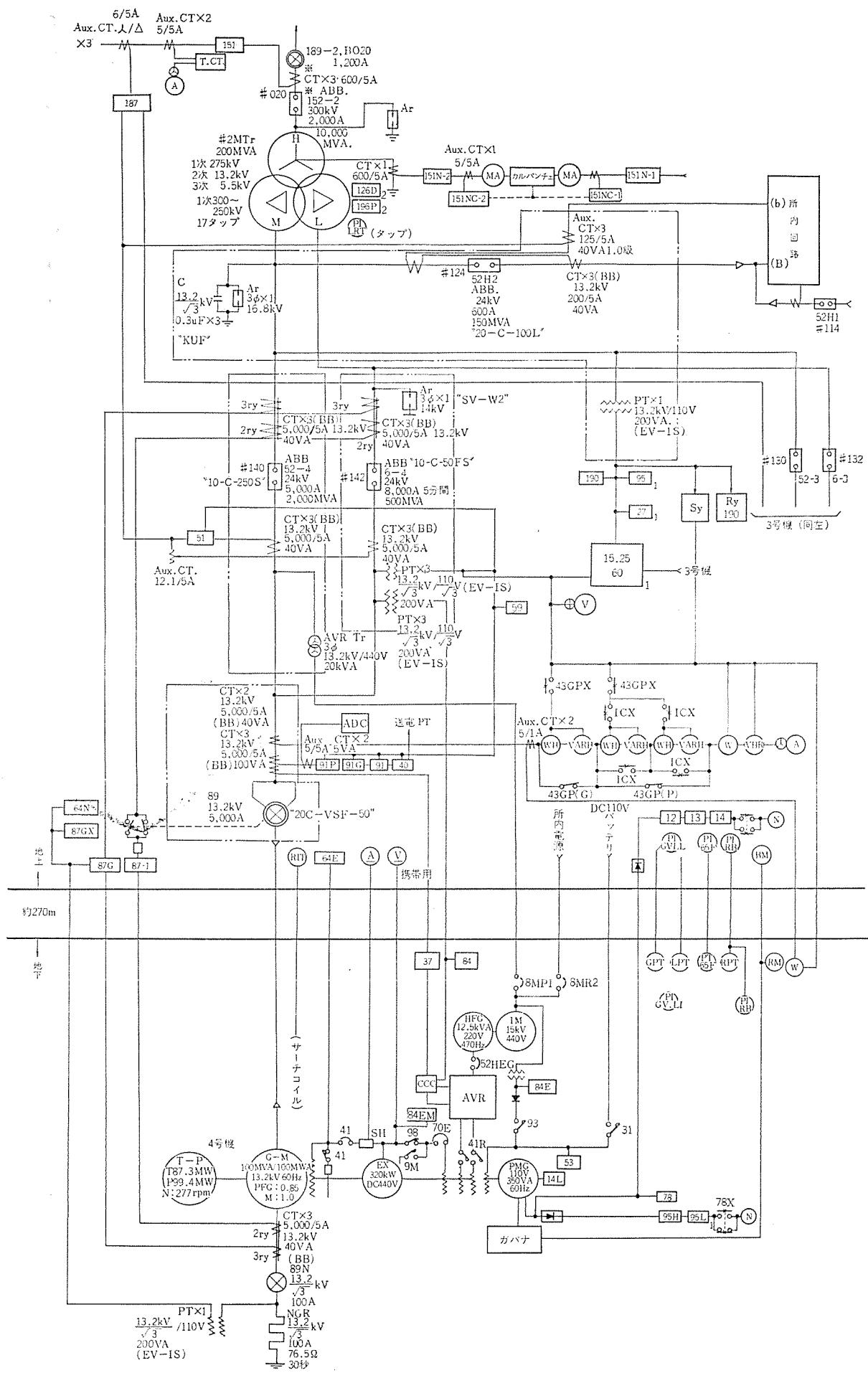


図 3.1 単線接続

### Single-line diagram of Takane No. 1 power station.

## 2. 2. 4 その他

風道は、鋼板製で内部には騒音防止用としてガラス繊維製防音機を取り付けた。また発電電動機回転子のつり上げ高さをできるだけ低減するため、一部切り欠きできる構造とした。風道上部には、図2.1の外観写真が明らかなように化粧カバーを設け、外観を体裁よくするとともに内部点検も容易な構造となるようにした。

推力軸受油そう(槽)は、国鉄輸送のできるぎりぎりの大きさの一體ものとし、足は全数継足構造とした。軸電流絶縁は、上ブラケットおよび固定子フレーム間で実施している。この上ブラケットも軸下り量を極力少なくするため、とくに上下方向のたわみの少ない構造とした。また図2.2に示すように、ポンプ水車軸の上部に軸下り検出計を設け、運転中の軸位置の監視ができるようにしている。これは当社の標準方式のもので、その動作原理は軸の上下動をインダクタンスの変化でとらえ、その数値を記録表示するものである。

消火装置は、注水式消火装置が設けられた。その理由は最近のレジン絶縁コイルおよびその他の絶縁物がすべて難燃性であり、かつ自己消火性であること、および保護繼電装置の発達で確実な事故検出およびその除去がすみやかにできるようになったために、炭酸ガス消火装置に代わって採用されたものである。これは国内外共通の傾向であり、装置の簡素化として歓迎されているものである。

ブレーキは空気式である。ひんぱんな使用に耐えるように真空クリーナー付の集じん装置を設けた。このブレーキは、当社の標準方式で单一シリンダを油圧ジャッキにも使用できる兼用装置である。ブレーキシューには、摩耗指示装置を設けて取り換えに便利なものとした。

### 3. 運転制御装置

### 3.1 回路方式

図3.1はこの発電所の単線接続図である。発電電動機の制御はEL 992 mに建てられた地上本館の配電盤室から行なわれる。発電電動機は本館直下の放水路よりさらに地下約50 mのEL 915.2 mに設置されており、配電盤室との間、約270 mには主回路ケーブルダクトに沿って制御ケーブルがはられている。

地下の発電電動機から出た主回路ケーブルはそのまま地上の高圧メタルクラッドキュービクルに導かれ、相反転断路器、全電圧しゃ断器、起動用しゃ断器等を通して主変圧器に接続されている。

### 3.2 補機

圧油ポンプは常用・予備共 75 kW 電動機のユニット式で、制御は機械的に常用・予備を選択する  $\Delta$  ベルト式コントロール方式である。冷

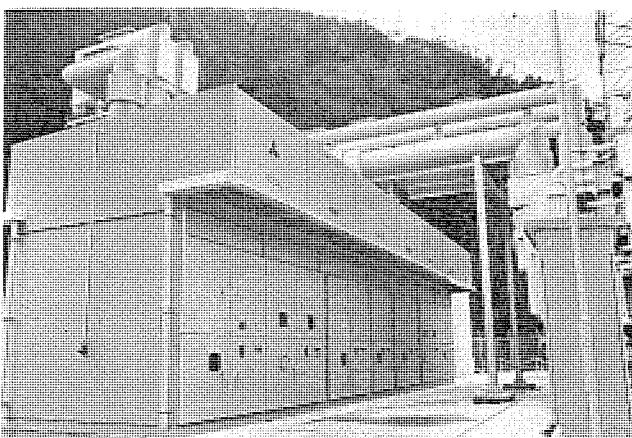


図 3.2 高圧 メタルクラッドキュービクル  
High voltage metal-clad cubicle.

却水ポンプは 75kW 電動機 3 台設け、そのうち任意の 1 台を予備に選択できる変形ユニット式である。

コンプレッサはセントラル式で45kWの電動機4台を設け、そのうち2台を常用、2台を予備とし、水面押下空気タンク圧力スイッチにより自動制御している。圧縮空気はまずドロフト水面押下用空気タンクに入り、それよりブレーキ用タンクおよび圧油タンクに分岐されている。その他、排水ポンプ、グリースポンプ、ストレーナ等の制御方式は一般水力発電所の場合と同様である。

### 3.3 調速機, ランナ調整装置

調速機はトランジスタ式 TEA-3 形高級電気がバナを採用した。ランナ調整装置はトランジスタを使用した電気式を採用した。

高効率発電のためのカム装置は、ポンプ水車特有の非線形特性のため、ガイドベーン開度および有効落差に応じて立体カムを使用した。この立体カムは次項の水位差開度調整器に付属しており、これらの相互関係概要を図3.3に示す。

### 3.4 水位差開度調整装置

揚水運転の際、起動開始より定常揚水に達するまでに2段階の制御モードを必要とする。一つはガイドベーン開きはじめより最低揚水量に達するまでの制御モード、一つは最低揚水量より設定揚水量（または設定入力電力量）に至るまでの制御モードである。最初のモードは

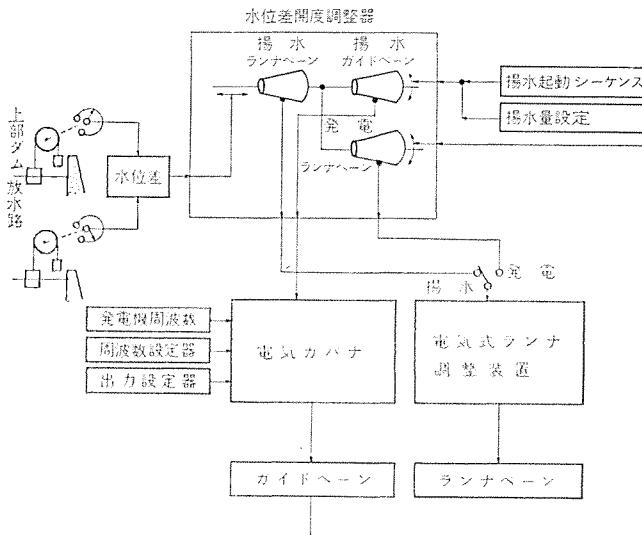


図 3.3 ポンプ水車調整装置ブロック図  
Block diagram of pump turbine control equipment.

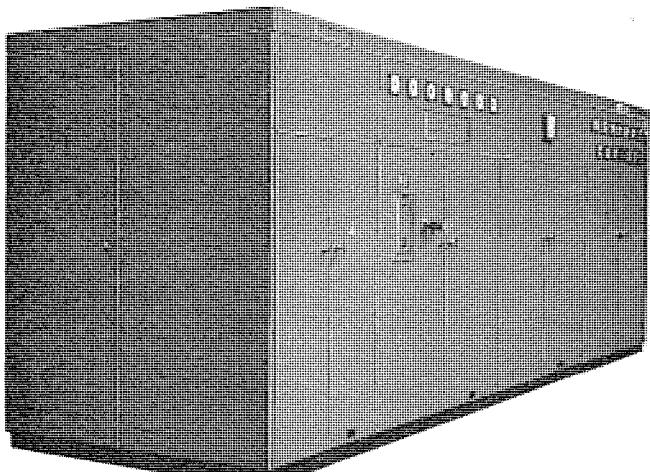


図 3.4 水車制御盤  
Pump turbine control cubicle.

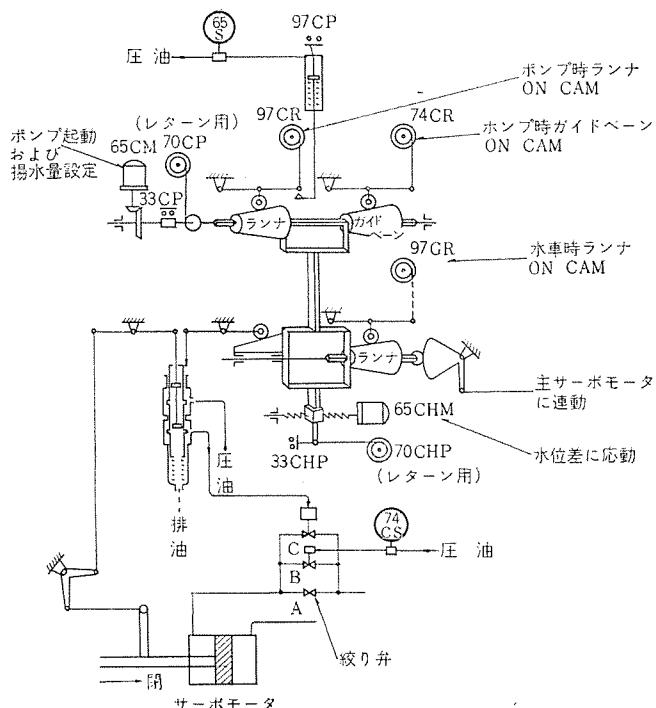


図 3.5 水位差開度調整装置  
Cam controller for guide vanes and runner vanes.

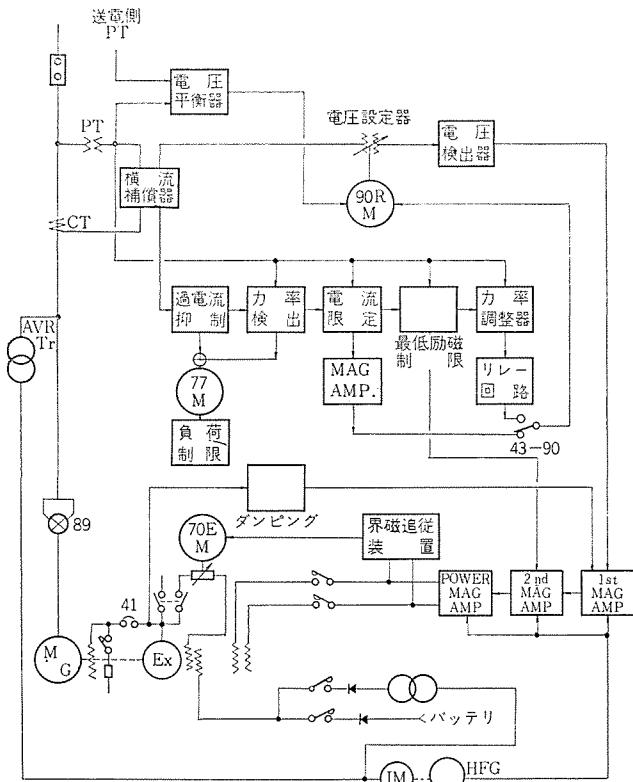


図 3.6 AVR ブロック図  
Block diagram of AVR system.

揚水起動を安定に行なうために、ガイドペーン開度、ランナーペーン開度、有効落差、および起動速度を相互に関連づけるものである。

揚水量設定のモードは安定な揚水運転限界内で、効率よく運転するためにはガイドペーン開度、ランナーペーン開度および有効落差を関連づけるものである。これらを制御する水位差開度調整装置は図 3.5 に示すように、ガイドペーン制御用とランナーペーン制御用の二つの立体カムを有している。この立体カムは、0~300°回転するようになってお

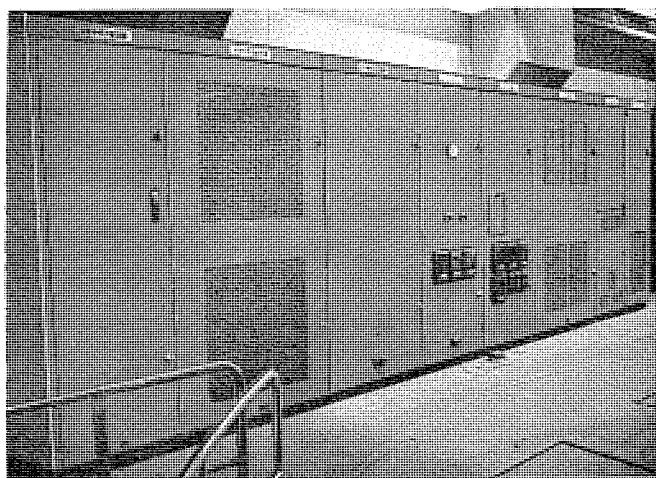


図 3.7 AVR 盤 AVR cubicle.

り、0~150°は第1のモード、150~300°は第2のモードとして使用する。また、立体カムは有効落差によって自動的に軸方向に動くようになっている。

カムを制御する電気的装置はすべてトランジスタ化した無接点式制御装置を使用している。

### 3.5 AVR

磁気増幅器式静止形 AVR を使用している。付属装置として最低励磁制限装置、電流限定装置、力率調整装置、および横流補償器を設けている。AVR 切り換えスイッチは 3 位置とし、除外—AVR (電流限定使用)—APFR (力率調整使用、電流限定除外) となっている。

AVR 構成概要を図 3.6 に示す。

### 3.6 ポンプ水車起動シーケンス

水車運転時の起動シーケンスについては、従来の一般水力発電所の場合と大差ないので、本文では省略することにし、以下揚水起動シーケンスについて述べる。本発電所の電動機起動にはいわゆる制動巻線起動方式を採用しており、揚水起動シーケンスの概要は図 3.8 の揚水起動ブロック図に示す。

揚水用主制御開閉器 (1P) は水位押下一起動一揚水一停止一主弁閉一切、の 6 ポジションとしている。揚水起動順序は非常に複雑であり、多数のソレノイド、起動装置を一定の順序とインターロックを保ちながら進めいかなければならない。また発電運転用装置との兼用、切り分け、相互インターロック、動作記憶等シーケンス自体が複雑化すれば、保守、点検、非常時の回路チェックにトラブルの原因を生ずる。そこで特に揚水起動シーケンスに対しては、はん用性のあるシーケンスリレー回路網を考案し、統一された思考の下にシーケンスを組立てている。

回路の一部を図 3.9 に示している。これは簡単にいえば a 接点制御方式であり、ある瞬間ににおいて、制御しようとする機器に対してのみ、a 接点によって付勢させるものである。図についていえば、たとえば、今 4P1 が動作してソレノイド A を動作させたとする。ソレノイド A が動作すると 4P2 が付勢しソレノイド B を動作させる。同時に 4P1 は消勢する。すなわち、ある瞬間ににおいて付勢されているシーケンスリレーは 4P1, 4P2……4Pn の中、ただ 1 個のみである。

配電盤にはシーケンスリレー表示灯を取り付けてあり、現在どこまでシーケンスが進行しているかを 1 目りょう然に監視できる。

### 3.7 特殊装置

#### (a) ランナーペーン保護装置

取水口入口および放水路出口には 70 mm のスクリーンが設けられ

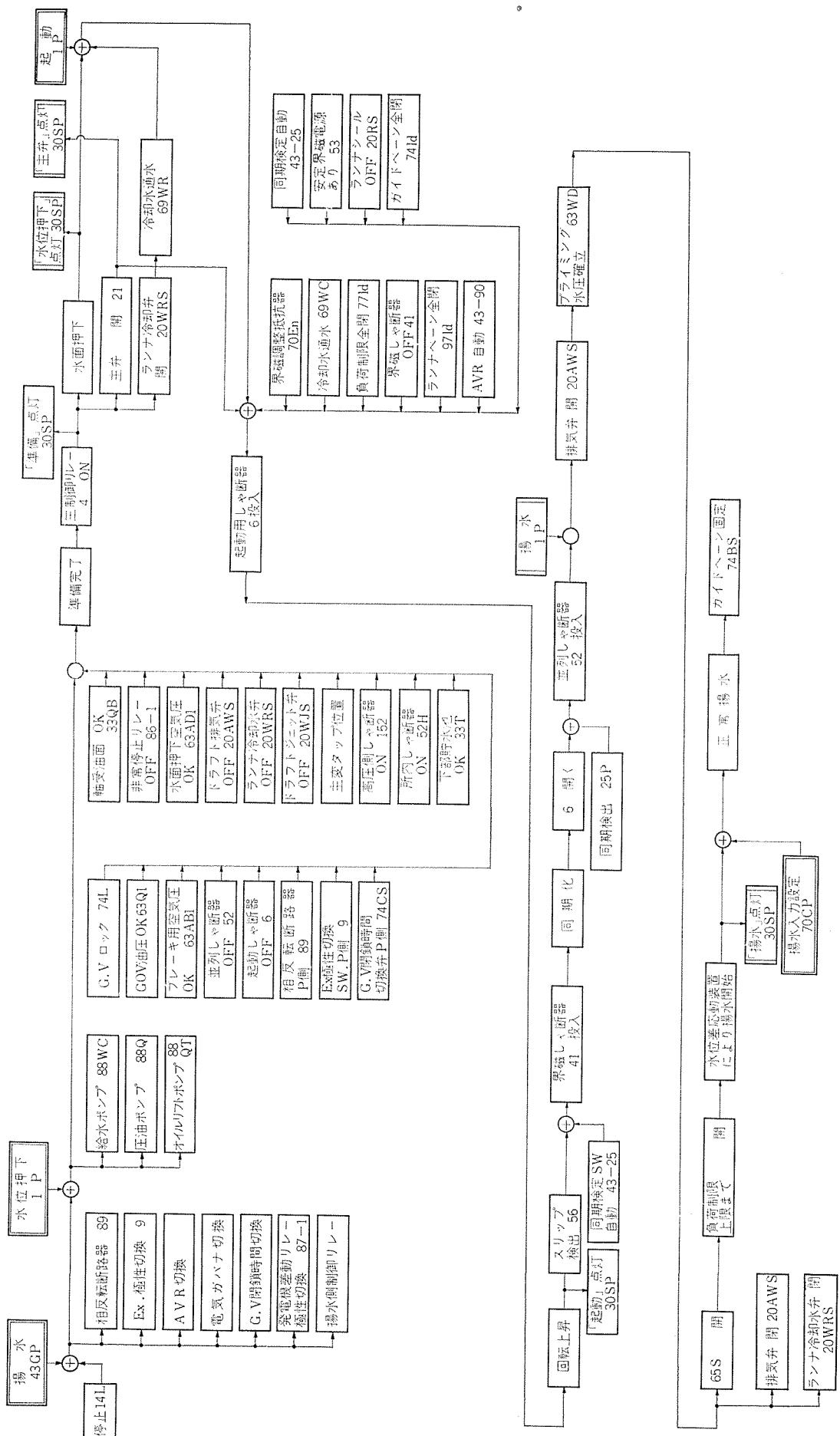


図 3.8 揚水起動 ブロック 図 Block diagram of pump starting.

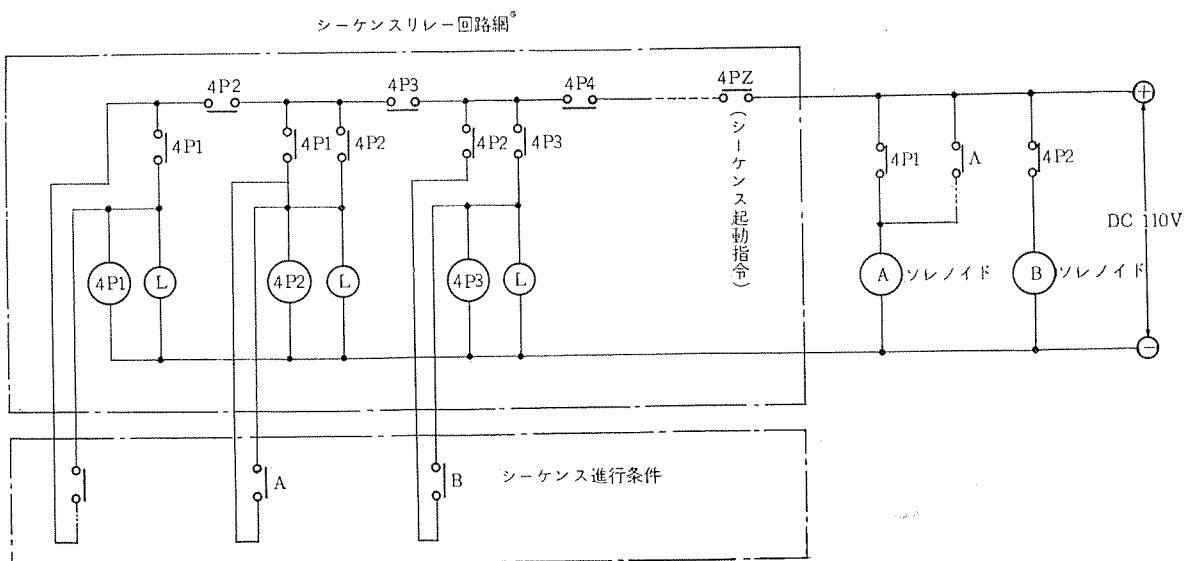


図 3.9 シーケンスリレー回路 Sequence control relay circuit.

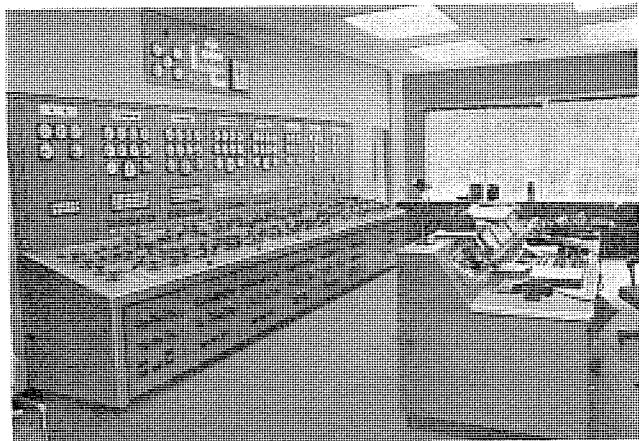


図 3.10 主配電盤  
Main control switchboard.

ているが、このすき間より流入した木片がランナーベーン閉鎖時にかみ込んでランナーベーンを破損するおそれがある。

この保護装置はランナーサーボの開閉軸圧差を検出し、閉鎖時の油圧差こう配の反転、およびランナーサーボストロークに対する規定油圧差からの異常油圧差を検出して、ランナーベーンを強制的に開き破損を防止する。検出速度は油圧差異常よりランナーベーン開動作まで約 200 ms 以下である。

#### (b) 出力制限装置

揚水発電所の特長として大きな変落差を生ずるため、最高落差、最大流量においては、水車発電機過負荷になることがある。本発電所では最大出力 87.3 MW、最大流量 75 m<sup>3</sup>/s 以上にて運転しないよう負荷制限装置を使って制限運転を行なう。

装置は有効落差とガイドベーンストロークを入力とし、87.3 MW 制限と 75 m<sup>3</sup>/s 制限の領域をそれぞれ近似的にトランジスタ演算アンプを使って設定し、負荷制限装置(77)を制御している。

#### (c) 運転位置表示装置

有効落差を縦軸、ランナーベーン開度を横軸として、現在の運転状態を XY レコード上に指示する。XY レコードは指針をランプに取り換えてあり、その表側に発電、揚水運転範囲を図示した半透明グラフが取りつけられている。したがってポンプ水車運転の状態を一目で確認す

ることができる。

## 4. 現地試験

発電電動機関係の現地試験のうち、おもなものを以下に紹介したい。

### 4.1 オイルリフト性能試験

本機の電動機起動電圧は、前述のごとく 5,000 V の低減電圧であり半電圧起動の場合に比べて起動トルクは、約 57 % に低下する。このため起動瞬時の軸受摩擦トルク低減には、とくに意を用いた。図 4.1 に現地におけるオイルリフト性能試験結果の一例を示す。この結果、軸受の静止摩擦トルクを約 400 kg-m 程度にまで低下させることができた。なお各スラストパッドに、均一に油膜が形成されていなければ、各パッドの下に直結された圧縮管の荷重表示が異なる（油膜形成をしていないパッドの分担荷重がオイルリフトによる主軸浮き上り量に相当する分だけ減少する）はずであるが、慎重調査の結果その事実がないことを確認した。これは各パッドの荷重表示装置があるためにできることがあり、オイルリフト装置の性能が万全であることを確認できた次第である。

### 4.2 電動機起動試験

制動巻線による電動機の自己起動試験は、現地試験に先立ち工場

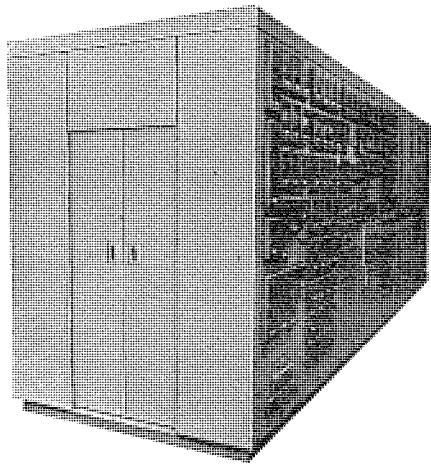


図 3.11 総電器盤  
Protection relay and control relay panel.

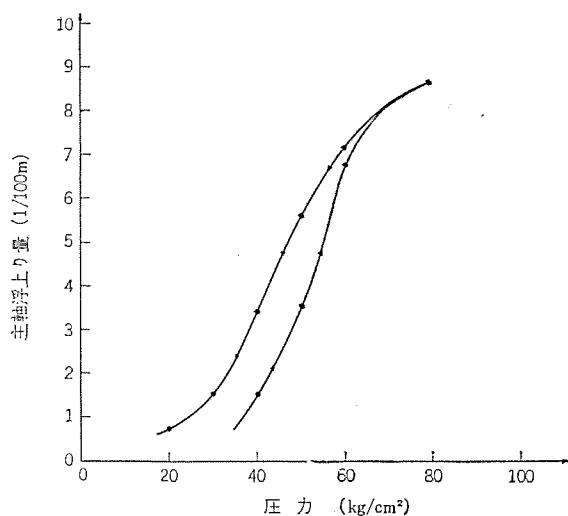


図 4.1 オイルリフト 性能曲線  
Oil lift performance.

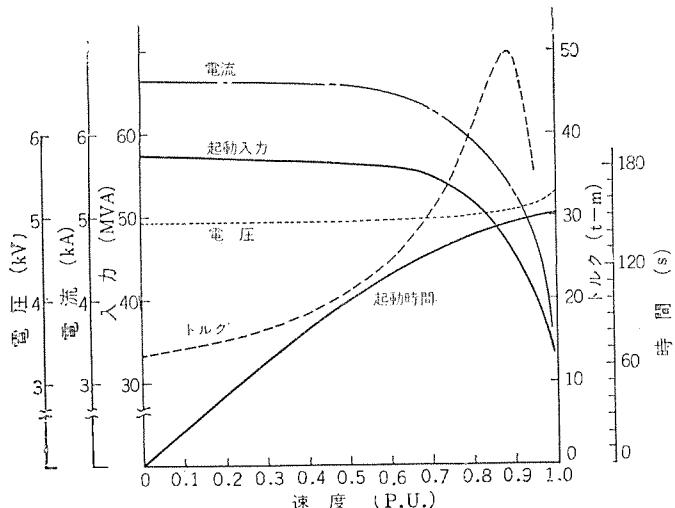


図 4.2 電動機加速特性  
Motor starting performance.

表 4.1 電動機起動特性 (オシロ 実測値)  
Starting characteristics.

項目	#6 投入よりの時間 秒	電圧 V	電流 A	入力 kW	備考
#6 投入	0 133	4,800	6,520	約 6,000 最大約 14,000	この間の加速特性につ いては図 4.2 参照
#41 投入	145.7	5,700	3,870 2,900 ~ 630	約 11,000 ~ 0	#41 投入時のすべり 約 0.87 %
	159	6,500	3,200	約 4,000	低圧同期化時の動揺 低圧同期化安定後
#6 開放	165	9,800	0	0	#6 開放より #52 投入ま で約 0.85 秒
#52 投入	165.8	12,800	最大約 3,300	最大約 12,000	#52 投入後 AVR 動作
	185	13,300	725	4,000	界磁電流安定後

注) #6 : 起動用しゃ断器 (低減電圧)

#41 : 発電電動機界磁しゃ断器

#52 : 発電電動機主回路しゃ断器

において 3,000 V, 60 Hz の工場受電電源を用いて実施した。その結果、起動特性計算値と実測値がきわめて良く一致し、5,000 V における起動入力を十分低く (約 57,500 kVA) 抑制できることが確認

された。図 4.2 には、現地における低減電圧 5,000 V における制動巻線による電動機加速特性の実測結果を示す。

制動巻線トルクによる起動加速後、低減電圧において励磁を印加し系統と同期化後、全電圧に切り換える。励磁印加時のすべり、励磁の量および全電圧切り換え時のしゃ断器 #52 の投入時期の決定等、現地において慎重調整の結果表 4.1 に示すように、各操作を通じてもっとも電力動揺の少ないものに整定することができた。電動機の全起動時間は、起動しゃ断器 #6 投入後全電圧切り換え界磁電流一定となるまで約 3 分である。

制動巻線温度の実測は、テンピル塗布およびサーミスタ温度計と FM 送受信装置を併用して実測した。その結果室温よりの温度上昇値は、コネクター部分で約 50°C、セクメント部分で約 70°C、制動巻線導体 (ただし鉄心内は計測不可能であるため端部で測定した) で約 130°C 程度であった。また 2 回連続起動時における制動巻線温度も計測したが、1 回起動時に比べて約 10°C 程度の上昇にとどまることを確認した。この結果起動特性はもとより熱的にも機械的にも所期の目標どおり、十分信頼性のある制動巻線であることが実証できた次第である。

#### 4.3 負荷試験

100,000 kVA、力率 85 % の発電機定格負荷運転時の安定後の各部温度および 100,000 kW、力率 100 % の電動機定格負荷運転時の最終安定温度は次のとおりである。

発電機運転時	電動機運転時
固定子コイル	72°C
界磁コイル	80°C
スラスト軸受	52°C
上部案内軸受	47°C
下部案内軸受	39°C
冷却水温	11°C

いずれの数値も保証値を十分満足する余裕のある値であり、運転上何ら懸念のないものである。とくにスラスト軸受については、正逆いずれの回転においても安定した特性を示し、設計目標どおりの性能であることが確認された。なおこれらの温度は、いずれもサーチコイルの指示値である。

#### 4.4 発電運転限界試験

発電運転限界試験として、励磁電流 600 A (発電機定格負荷励磁電流実測値の約 90 %) 一定の運転範囲および最低励磁制限装置確認運転を実施した。その結果を図 4.3 に示す。図において、実線で示した曲線は実測を示すが、点線の曲線はいずれも計算値によるものである。この励磁電流計算値は、発電機の無負荷および負荷飽和曲線実測値を用いて、参考までに JEC II 法および III 法による値を示したが、過励磁域 (発電機過電力) では JEC II 法、不足励磁で電機子電流の大きい範囲 (発電機進み力率) では III 法の計算値の実測と良く一致することを示している。

#### 4.5 調相運転試験

本発電機は、発電運転方向において水位押下げを行ない調相運転にも使用される。このため発電より調相および調相より発電への切り換え試験や、調相機 V 特性曲線の実測などを実施した。図 4.4 に実測の V 特性曲線を示す。図中に参考までに前節同様、JEC II 法および III 法による励磁電流計算値を示した。

なお切り換え時間は、発電負荷 21,000 kW より調相運転開始までが約 95 秒程度、調相運転より 21,000 kW 発電運転までが約 80 秒程

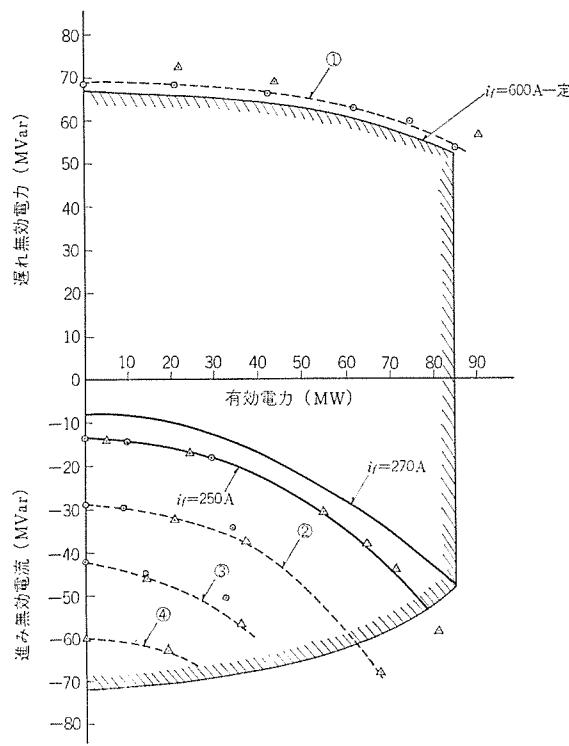


図 4.3 発電運転限界曲線  
Generator capability curves.

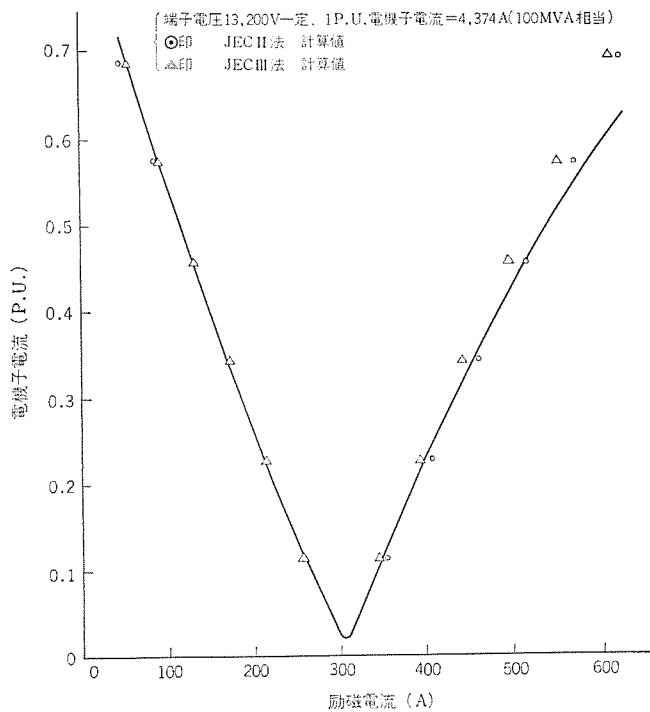


図 4.4 調相運転 V 特性  
Characteristics of condenser operation.

度であった。

#### 4.6 軸下がり

デリヤポンプ水車はその特性上水車起動時、水車運転時、水車負荷しや断時、ポンプ起動時、ポンプ運転時およびポンプトリップ時とそれぞれの運転状態において、水圧推力がかなり大幅に変動する。この荷重変化に加えて、発電電動機の内部の温度も変化するため軸下がりは複雑な挙動を呈する。すでに述べたとおりこの軸下がりの挙動監視のため、本機は軸下がり検出計を設けているがその記録の一部を図 4.5 に示す。図は、揚水一発電一揚水切り換え試験時の例である。軸下がり量は、図の下向きが軸下がり、上向きが軸上がりであることを示す。なお一定負荷で運転した場合には、温度の影響で軸下がり量は減少する傾向にある。

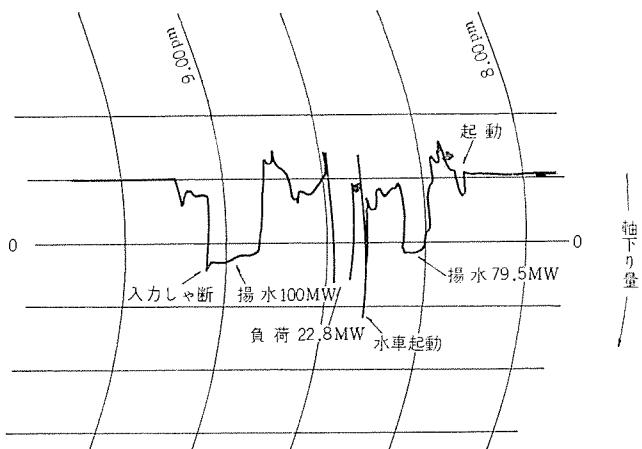


図 4.5 軸下がり記録  
Vertical movement of shaft.

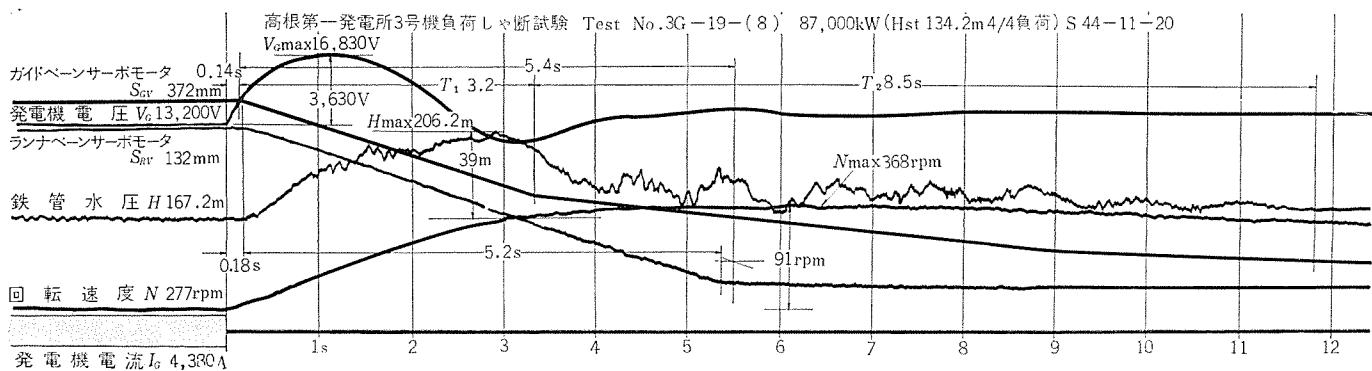


図 4.6 負荷しゃ断オシログラフ  
Generator load cut-off oscillograph.

表 4.2 揚水発電起動特性  
Pump turbine start-stop time schedule.

動作順序		測定値	
		3号機	4号機
水面押下	起動操作から主弁開き始めまで	32''	26''
	起動操作から主弁開き終わりまで	2'43''	2'35''
	起動操作から水面押下開始まで	6''	8''
	起動操作から水面押下完了まで	42''	1'43''
揚動	起動操作から#6投入まで	1'47''	1'43''
	その時の電動機電圧	5,760 V	5,630 V
	その時の電動機電流	6,620 A	6,580 A
	その時の電動機入力	4,800 kW	5,800 kW
	起動操作から#41投入まで	4'27''	4'25''
	起動操作から#6しゃ断まで	4'47''	4'44''
	起動操作から#52投入まで	4'48''	4'45''
	その時の電動機電圧	13,000 V	12,900 V
	その時の電動機電流	1,780 A	2,800 A
水	その時の電動機入力	15,500 kW	12,000 kW
	起動操作から排気弁開き始めまで	4'50''	4'45''
	起動操作からブライミング水圧確立まで	6'45''	6'31''
	起動操作からガイドベーンセットまで	9'15''	9'11''
	その時の電動機電圧	13,200 V	13,200 V
	その時の電動機電流	3,580 A	3,400 A
停止	その時の電動機入力	81,500 kW	79,500 kW
	停止操作から#52しゃ断まで	23''	22''
	停止操作から#41しゃ断まで	23''	22''
	停止操作からガイドベーン全閉まで	27''	25''
	停止操作からブレーキかけ始めまで	4'04''	4,08''
主弁閉	停止操作から電動機停止まで	5'20''	5'22''
	停止操作から主弁閉じ始めまで	39''	32''
発電	停止操作から主弁閉じ終わりまで	2'48''	2'41''
	揚水停止操作から43GP切り換えまで	5'40''	5'43''
	揚水停止操作から起動操作まで	5'46''	5'46''
	揚水停止操作から#52投入まで	9'10''	10'14''
	揚水停止操作から1/4負荷まで	9'49''	10'55''
	その時の出力	22,800 kW	22,200 kW
	発電停止操作から解列まで	19''	31''
揚動	発電停止操作から停止まで	6'18''	6'31''
	発電停止操作から43GP切り換えまで	6'40''	6'49''
	発電停止操作から#52投入まで	11'33''	11'31''
	発電停止操作から最低入力まで	16'25''	16'03''
	その時の入力	81,500 kW	79,500 kW
水	入力しゃ断		
	しゃ断から停止まで	4'28''	4'28''

#### 4.7 負荷しゃ断試験

3号機のオシログラフを図4.6に示す。

おもなデータは次のとおりである。

顧客要求仕様は電圧上昇率30%以下、速度変動率36%以下であり、データはこれを十分満足している。

	3号機	4号機		3号機	4号機
しゃ断負荷	87,000 kW	85,000 kW	最大電圧	16.83 kV	16.62 kV
負荷電流	4,380 A	4,370 A	電圧上昇率	27.5%	25.9%
力率	85%	85%	最大速度	368 rpm	355 rpm
負荷時電圧	13.2 kV	13.2 kV	速度変動率	32.8%	28.1%
回転数	277 rpm	277 rpm			

#### 4.8 揚水起動試験

揚水起動から揚水運転、揚水停止、発電切り換え、発電起動、発電運転、発電停止に至るまでの測定値は表4.2のとおりである。

#### 5. むすび

以上、発電電動機、運転制御装置の概要について記したが、本発電電動機の製作により、この分野における貴重な技術を数多く積重ねることができ、今後予想される、さらに大容量の機器に対しても何ら問題なく製作しうる自信を深めることができた。

最後に本発電電動機の製作にあたり種々ご協力をいただいた、中部電力(株)の関係各位に深く謝意を表する。

## 観測船気象レーダ装置

御法川秀夫\*・小杉明\*・紙谷栄人\*\*

## A Weather Radar for Marine Weather Observation Vessels

Communication Equipment Works

Hideo MINORIKAWA・Akira KOSUGI

Kamakura Works Yoshihito KAMIYA

Weather radar networks in Japan have been gradually enlarging their coverage, now extending over nearly all the country proper. On the other hand marine observation vessels equipped with the weather radar on board are constructed year after year. M/S Keifu-Maru, built in 1969 and now in service for meteorological survey, carries a type RC-52 weather radar manufactured by Mitsubishi.

Described herein are the features of this radar as compared with that used on land. The most distinctive character of the marine radar is a device to stabilize the antenna against the oscillation. One chapter is specially provided to make a relatively precise mention of the stabilizer.

## 1. まえがき

昭和29年にわが国で初めてルーチンの観測用の気象レーダが設置されて以来、今まで南は名瀬から北は札幌に至るまで15カ所に気象レーダが設置され、ほぼ日本列島全域はその観測網におおわれるようになった。四面海に囲まれたわが国においては、これら陸上の気象レーダによる観測とともに、海上気象観測は、台風の早期発見、天気予報の精度向上に役立ち、海難事故防止にその威力を発揮する。これまで海上気象観測は観測船により行なわれてきたが、この観測船に気象レーダを積載することにより、その観測能力は著しく改善される。昭和44年に、気象レーダを積載した気象庁観測船の第2号船として、啓風丸が建造され、当社ではそのレーダ装置一式を納入したのでここに紹介する。

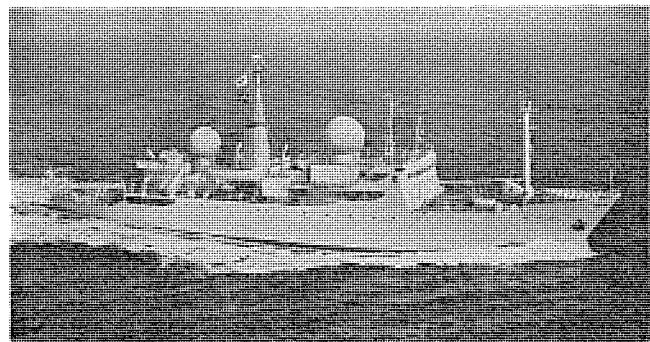


図 1.1 気象観測船「啓風丸」  
Marine weather observation vessel M/S "Keifu-maru".

## 2. 装置の特長

一般的にレーダは、電波を空間に放射して、その反射波により、目標の存在とその位置を測定する無線装置といえるが、気象レーダはその目標が降水現象を主とした気象現象であるため、種々の特長をもつ。

気象レーダは大別して、空中線装置、送受信装置および指示装置より構成される。使用される周波数は主として 3,000 MHz～9,000 MHz 帯で、アンテナビームは円形放物面のパラボラ形反射器によるパンチルビームである。また、任意空間の降雨強度を測定するために、空中線はその方位・俯仰を自由に設定できる。

受信装置は、雨量強度 1 mm～100 mm/h にわたる広い範囲の反

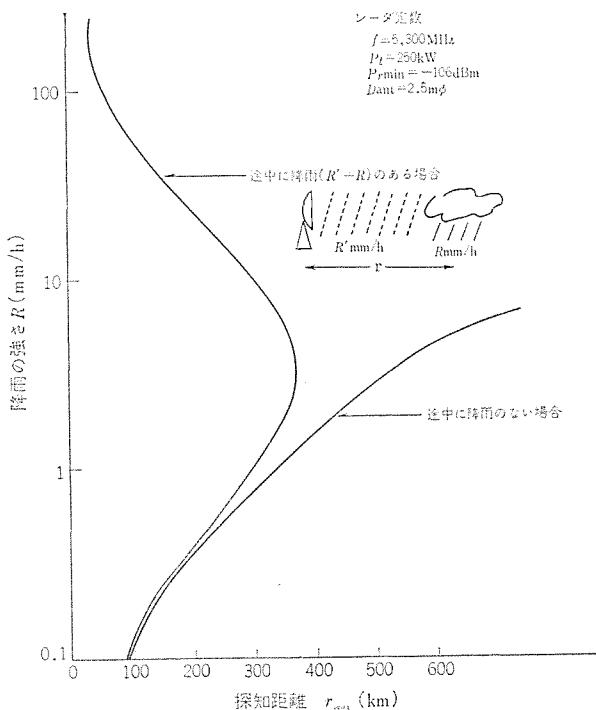


図 2.1 探知能力  
Radar detection capability.

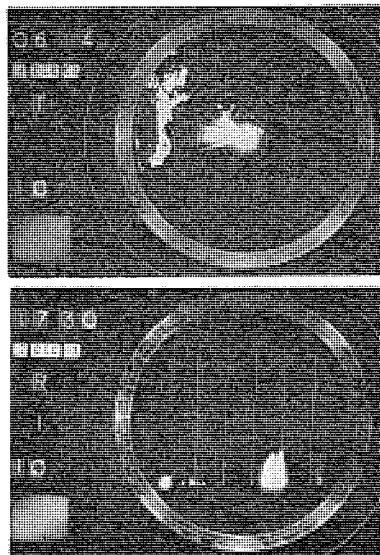


図 2.2 PPI 画像(距離  
100 km, 真北  
表示)  
PPI pattern (Range :  
100 km, true north  
indication).

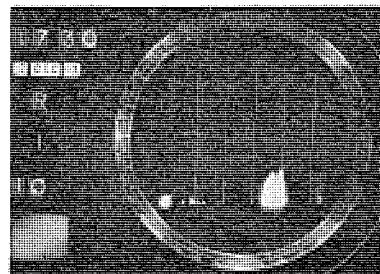


図 2.3 RHI 画像(距  
離 100 km, 高  
度 10 km).  
RHI pattern (Range :  
100 km, Height : 10  
km).

射波を受信するために、70 dB 以上のdynamic rangeを必要とし、通常対数増幅特性をもつ。

指示装置は、気象現象の観測、解析に最も適した PPI, RHI, A/R スコープ等が用いられる。

本レーダは船舶積載用として、従来の陸上用に比較して、次のような特長がある。

#### (1) 動揺・振動・衝撃への耐性

固定用と船用における最も大きい条件の相異は、動揺・振動・衝撃である。これらに対する装置の性能は4章に記す。

船の動揺に対する影響を最もこうむるのは空中線装置である。気象レーダのアンテナパターンは、レーダの性質上ペンシルビーム（本レーダではビーム幅1.7度）を使用しているので、船の動揺に対して空中線を常に水平に保つ必要がある。このため空中線装置は動揺修正盤上に設置されている。

振動・衝撃に対しては、各装置は防振ゴム台を使用し、床あるいは壁に固定されており、6 g の振動・衝撃に耐えられる設計となっている。また、機械的接触部をもつリレー・接せん（栓）類には、耐振動・耐衝撃に信頼性のあるものを選択し、プリントカードはバスケットにクランプ機構を設け、接せん部の接触不良を防止している。

送受信装置と空中線を結ぶ導波管系は、船の振動・ひずみによる破損を防ぐため4本の可とう（撓）導波管を用い、各方向の振動・ひずみを吸収している。

#### (2) 装置の構造

前項の防振構造のほかに、各装置は防滴構造となっており、所要の箇所は防水構造になっている。各装置は、半導体化その他の手段により極力小形化を行ない、限られた床面積に有効に配置されている。

空中線装置は暴風雨時にも安定に動作し、かつ保守を容易にするとともに、波浪による破損および塩害による腐食を防止するため、レーダームでおおわれているが、動揺修正盤に取り付けること、ならびに船体に対する受風面積、重量の制限上、空中線反射鏡の直径は2.5 m（陸上気象レーダの標準は3 m）とし、反射鏡を取り付けるペデсталも軽量構造とし、全体で重量を550 kg としている。また、機構部品はユニット化することにより、軽量化とともに船上での点検、交換をしやすくしている。

レーダ映像を自動的に撮影記録する35 mm 自動撮影装置は、船舶の振動・動揺によるカメラぶれを防止するため、被写体である指示装置にフードを取り付け、それに撮影装置をマウントして、被写体とカメラの動きを一体化するとともに、撮影装置、フードをそれぞれ5.4 kg・6.2 kg と軽量化し、さらに広角レンズを用いてフードの高

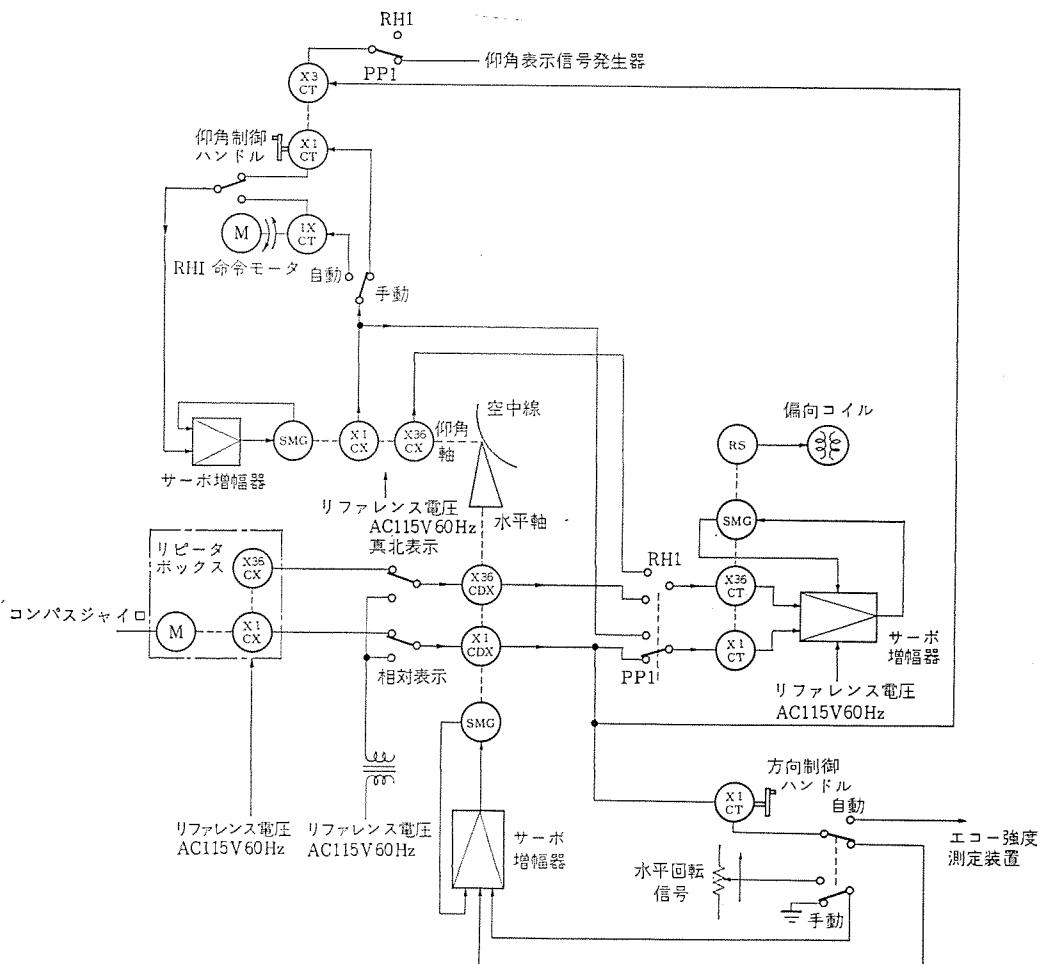


図 2.4 レーダーサーボ系統図 Block diagram of radar servo system.

さを低くして、振動防止を計っている。

#### (3) レーダーサーボ（シンクロ）系

本レーダでは、垂直ジャイロと接続された動揺修正装置関係のサーボ（シンクロ）系のほかに、図2.4に示す空中線装置関係のシンクロ系統がある。

空中線装置を水平および垂直方向の任意の角度に向けるために、水平・垂直2系統のサーボ系がある。空中線の水平・垂直各軸にはシンクロ発信器が取り付けられており、この発信器と指示装置にある命令用シンクロ制御変圧器との誤差角を検出し、誤差電圧を空中線制御装置で増幅し、空中線駆動モータを動作させる。

一方、指示装置には、スコープ上のスイープを空中線に追従させるサーボ系があり、これは×1, ×36の2速度系シンクロサーボシステムにより精度の向上を計っている。

指示装置の画像が、船首方向をPPIの0度方向とするいわゆる相対方位表示では、船舶の方向旋回により、表示される画像の位置が変化するため見苦しいものになる。真北表示方式はこれを解決するため、コンパスジャイロ信号によりPPIの0度方向が常に真北となる表示で、画像を一定に保ち見やすくしている。この真北表示を行なうため、空中線水平軸のシンクロは差動発信器となっている。

#### (4) 低サイドローブ空中線

前述のように、気象レーダではペンシルビームを使用しているが、その目標（降水）の性質上、ビーム幅を小さくするほど雨量の測定精度は向上する。このビーム幅の問題に加えて、空中線のサイドローブはクラッタの一因となり、観測効果を減少させる。とくに船用気象レーダでは、いわゆる海面反射の問題があり、空中線のサイドローブレベル

を低くおさえることは重要である。

本レーダでは新たに開発した低サイドローブ空中線を採用し、周波数  $5,300 \text{ MHz} \pm 10.5 \text{ MHz}$ において、空中線単体で  $-28 \text{ dB}$  以下、レードームを含め総合で  $-23 \text{ dB}$  以下である。この低サイドローブ空中線は従来の空中線と比較し、次の特長をもつ。

(a) 低サイドローブ特性を得るために、開口照度分布を制御し、鏡面精度によるサイドローブ上昇を抑えるため、従来のメッシュ(expanded metal) 方式をソリッド方式にした。

(b) 給電導波管および支持柱によるブロッキングを少なくするために、それらの断面形状・支持方法等を模型実験の結果に基づいて設計した。これにより、ブロッキングの影響を従来に比べ約 35% 低減した。

(c) 特に下方向のサイドローブを低くするため、給電導波管の位置、Defocus 量を実験的に決定した。これは、前述の海面反射による影響を少なくするためである。

#### (5) エコー強度測定装置

本装置により、400 kmまでの任意の地点(距離方向 10 km、方位角 6 度で囲まれた地域)のエコー強度を測定できるようになっており、強度は 2 dB ごとに 20 段階の数字表示される。

### 3. 機器構成

本レーダは下記の機器から構成されている。図 3.1 に系統図、図

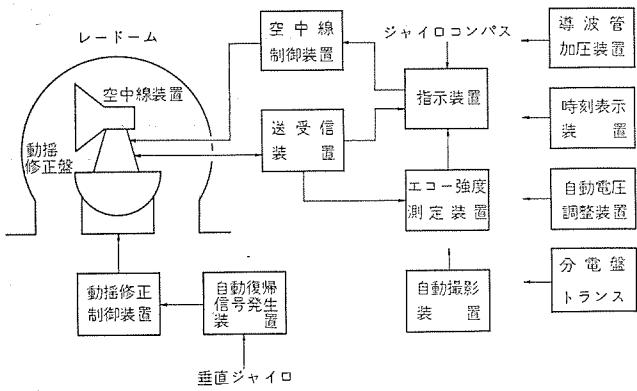


図 3.1 観測船気象レーダ系統図  
Block diagram of marine weather radar.

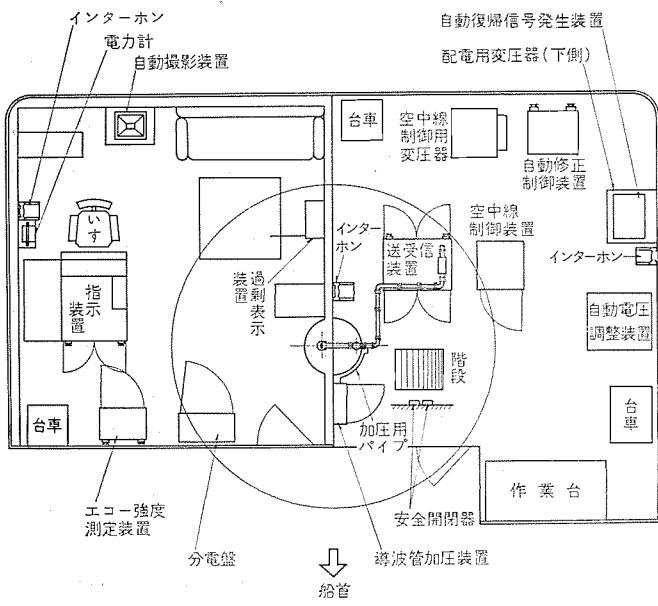


図 3.2 機器配置  
Layout of rader equipment.

### 3.2 に船内配置を示す。

装置	数量	備考
レードーム	1	
空中線装置	1	
動揺修正盤	1	
動揺修正制御装置	1	動揺修正装置
自動復帰信号発生装置	1	
空中線制御装置	1	
安全スイッチ	2	空中線用、動揺修正盤用各 1
送受信装置	1	
指示装置	1	
エコー強度測定装置	1	
自動撮影装置	1	
自動電圧調整器	1	
分電盤	1	
配電用トランス	1	
時刻表示装置	1	
導波管加圧装置	1	

### 4. 主要性能

レードーム	
直 径	5.5 m
高 さ	4.6 m
構造・材料	ハニカムサンドイッチ 強化ポリエチル樹脂
電力透過率	平均 90% 以上、最小 85% 以上
耐風性	平均風速 60 m/s
空中線装置	
反射鏡	直径 2.5 m パラボラ
偏 波	水 平
主方向利得	39 dB 以上
ビーム 幅	1.8° 以下
サイドローブレベル	-28 dB 以下
走 査	水平 6 rpm 自動走査および手動走査 垂直 0°~85° 手動走査 0°~30° セクタ走査
送受信装置	
送信周波数	5,300 MHz
送信出力	250 kW
パルス 幅	2 μs
繰返周波数	260 PPS
総合雑音指数	10 dB 以下
受信機特性	対数特性 対数直線範囲 80 dB
指示装置	
指示方式	PPI/RHI 切り替え 直角座標 RHI
観測距離	50, 100, 200, 300, 400 km 切り替え
高度表示	10, 20 km 切り替え
エコー強度測定装置	3~400 km 内の任意の地点のエコー強度を 2 dB ごとに数字表示 最大範囲 40 dB
動揺修正装置	
動作範囲	ローリング 約 ±25°

ローリング 周期 約 10 s  
 ピッキング 約  $\pm 7^\circ$   
 ピッキング 周期 約 7 s  
 動揺修正動的精度  
 垂直 ジャイロに対する  
 動的追従精度 約  $\pm 3'$   
 以下  
 自動復帰信号発生装置  
 ローリング 復帰信号  
 発生角度 約  $\pm 25^\circ$   
 ピッキング 復帰信号  
 発生角度 約  $\pm 7^\circ$   
 最大角速度  
 ロール 16°/s 以上  
 ピッチ 63°/s 以上

## 5. 動揺修正装置

### (1) 船用レーダと動揺修正装置

船舶積載用のレーダ装置は、船舶の動揺によりその基準面が変動するため、絶対水平面に対する目標物の位置を正確に知るには、何らかの方法で船舶の動揺を修正した基準面が必要である。当社では、南極観測船「ふじ」、気象観測船「凌風丸」、巡視船「いず」、「みうら」等の気象レーダ用動揺修正装置をすでに製作、納入している。これらはすべて、垂直ジャイロにより船舶の動揺を検知して、動揺修正盤の傾斜を修正し、絶対水平面を作るいわゆる機械的動揺修正方式であり、空中線の可動軸とは独立に動作をするものである。米国では、通信衛星の船舶上での追尾に動揺修正機能をもった空中線装置が使用されているが、これは修正盤を持たず、垂直ジャイロにより検出された船の動揺角度と、船舶上から見た目標追尾角度を電気的に処理して、空中線装置の駆動信号を修正するいわゆる電気的動揺修正方式である。

上記の二方式の優劣は、レーダシステムの種類、用途により異なるが、気象レーダの場合、1) 空中線自体の動作には、船の動揺を修正する動作が含まれないため、空中線の動作角度を狭くでき、構造上有利であり、また駆動速度も小さくてよいため、追従精度のうえでも有利であること。2) 空中線の走査形式が、俯仰・旋回形であり、垂直ジャイロのジンバルがピッチ、ロール形であることから、この間の複雑な変換を省くことができる、等の理由から、機械的動揺修正方式を採用している。

### (2) 動作原理

動揺修正装置は、修正盤・動揺修正制御装置・自動復帰信号発生装置から構成されるが、これに垂直ジャイロを組合わせることにより、動揺修正の機能をはたす。

動作原理は、垂直ジャイロにより検出された船体のピッキングおよびローリングの角度信号を、修正盤のシンクロ制御変圧器により受信し、

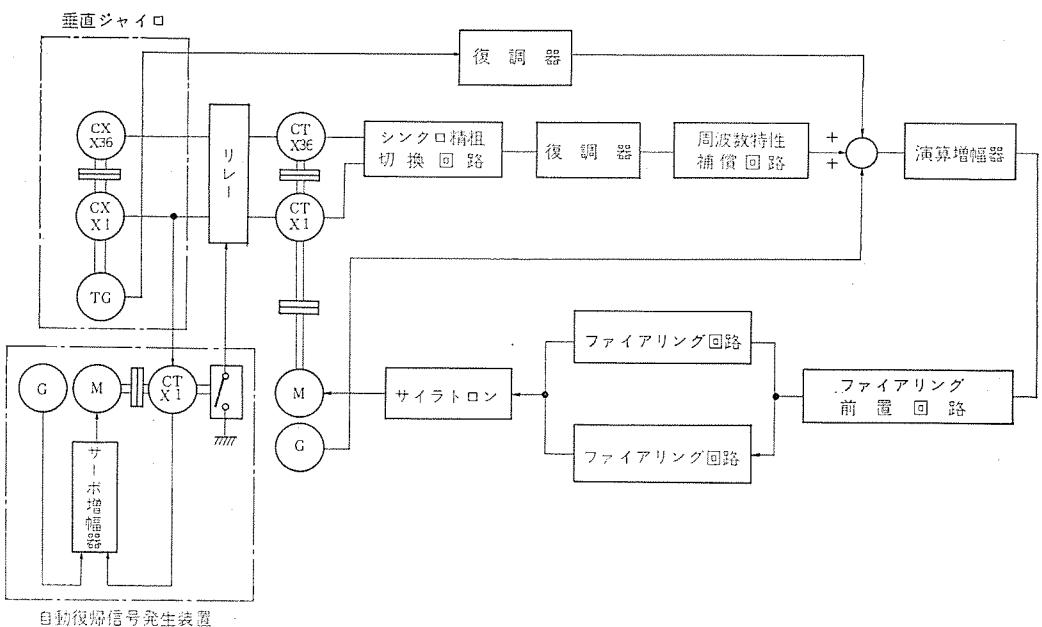


図 5.1 動揺修正装置系統図 Block diagram of stabilizer.

垂直ジャイロと修正盤の角度誤差を動揺修正制御装置へ送る。動揺修正制御装置は、サイラトロン 単相両波整流制御方式による サーボ増幅器であるが、その出力で、修正盤の直流サーボモータを駆動し、修正盤の基準面を垂直ジャイロの動きに追従させている。

自動復帰信号発生装置は、船体が制限角度以上に傾いたとき、修正盤を制限角に保持し、制限角以内に復帰したとき、再び修正盤を正常動作に復帰させる装置である。これは、垂直ジャイロの検出角と同じ角度の軸を作り、この軸に取り付けたカムによりスイッチを動作させ、修正盤のリレー回路を切り換えるものである。動揺修正の制御系には、動的な追従性をよくするために、修正盤駆動モータの速度信号のフィードバックのほかに、垂直ジャイロの動きの速度信号をブースタとして、角度信号に加算している。ピッチ、ロールとも同じ制御系であるので、その一軸について図 5.1 に系統図を示す。

動揺修正装置の垂直ジャイロの動きに対する動的追従精度は  $\pm 2' \sim 3'$  という試験結果を得ている。なお、垂直ジャイロの動揺角度検出精度は  $\pm 3'$  であり、動揺修正の最終精度として rms 平均で約  $4'$  を期待できる。

## 6. むすび

以上は、気象観測船「凌風丸」に積載された気象レーダの概要であるが、昭和44年10月より、石川島播磨重工東京工場において設備工事が行なわれ、12月に試運転を無事終了した。当社初の船用気象レーダであったが、公式試運転により計算どおりの性能をもつことが実証され、今後の海上気象観測、特に台風の早期発見に大いに活躍することが期待されている。

最後に、本レーダの計画実施に種々ご指導をたまわった気象庁の各位、ぎ(議)装にご協力いただいた石川島播磨重工業株式会社の関係各位に深甚なる謝意を表する。

## 半導体 Si 中不純物の放射化分析

高木 高志\*・池田 洋\*・杉岡八十一\*\*

## Activation Analysis of Impurities in Semiconductor Si

Electric performance of semiconductor silicon depends on the kinds and content of impurities in it and varies a great deal. It is no exaggeration to say that the semiconductor engineering is the high grade technique of how to introduce the impurities in the material to obtain necessary electric performance. The analysis of impurities is one of the most important basic technique of controlling the introducing impurities. It needs high sensitivity and high reliability. Thermal neutron activation analysis has been applied to the finding of impurities in semiconductor Si as a non-destructive method ; it has been successful in obtaining the concentration of them, the description of which is given in this article. The impurity elements concerned are Sb, As, Au and Na.

## 1. まえがき

半導体材料であるシリコンの電気的諸性質は、それに含まれる不純物の種類、その含有量に依存して、非常に異なり、しかもこのことはシリコンばかりではなく、半導体材料すべてに共通することである。すなわち、半導体技術とは必要な電気的特性をうるため高度な不純物導入技術であると言っても過言ではない。不純物導入制御技術の重要な基礎技術の一つが、不純物の分析技術である。高純度材料中の極微量 (ppb オーダ) 不純物の分析には、非常に高い感度と信頼性が必要である。これに対し、今まで種々の分析法が検討されているが、手軽に高い検出感度の得られる方法として開発研究されているのが、放射化分析法である。ここでは、この放射化分析法によるシリコン中不純物の定量分析法を、二、三の実験結果とともに解説的に述べる。

放射化分析法といふのは、分析対象元素の原子核に着目してこれを励起し、特異な原子核にしてこれを検出する方法である。分析試料を原子炉または加速器などから得られる中性子（または荷電粒子・ガンマ線）で照射することにより、試料中の対象元素は放射化され、短寿命ながら放射性同位元素となり、特異な放射線を放出するようになる。放射化された分析対象元素からの放射線の線質、エネルギーおよび強度を測定することにより、対象元素の同定、定量ができる、放射化効率(放射化断面積)のよい放射線は、熱中性子線(平均エネルギー；0.02 eV, 平均速度；2,200 m/s)であり、これは原子炉中で高密度( $10^{11}$  個/s・cm<sup>2</sup>)で得られる。ここで述べる実験も、すべて原子炉を用いた放射化分析である。

放射化分析法は、一般には成分のわかった標準試料と分析試料を同時に放射化して、その放射能（放射線強度）の比較で分析する方法として発達してきている。しかし放射化分析法は、原子核反応の詳細なデータに基づくことによって、極微量試料でも高感度で、絶対測定ができる方法である。ここで述べる実験も絶対測定法である。

放射化分析法の特長は、高検出感度、高信頼性であるが、もう一つ重要なのは、試料を化学的にも物理的にも破壊することを必要としない、いわゆる非破壊法でできることである。またこれの実現は放射線測定器が高感度、高精度となってきたことに原因している。

であり、それぞれ異なる測定器で計測される。放射化分析では、測定の容易さのためガンマ線を対象とするのが多いが、分析対象範囲を拡大するためには、ベータ線の測定も欠かすことはできない。ここではガンマ線の測定のみで分析できるものに限り、シリコンウエハーに含まれるアンチモン、ひ素、金、ナトリウムなどの測定効果を述べる。

なおこの実験は杉岡が試料の準備を行ない、高木、池田が放射化分析実験を相当し、その解析検討は3者で行なったものである。

## 2. 放射化分析法

放射化法による含有不純物分析法の手順は、大きくわけて二つである。まず、試料の放射化であり、ついでその放射能の測定である。これらについて述べる。

## 2. 1 試料の放射化

分析試料を原子炉などで熱中子照射することによって、試料中の分析対象元素が放射性同位元素となる。これが放射化である。生成された放射性同位元素からの放射線強度、すなわち放射能  $A$  は<sup>(1)</sup>、

ここで、

*A* : 放射化された分析対象元素の放射能 (個/s·g)

$N$ ：試料中の分析対象元素の原子密度（個/g）

*K*：放射化対象元素の存在比（同位元素比）（%）

$\sigma$ ：放射化対象元素の熱中性子放射化断面

$f$  : 照射する熱中性子束強度 (n/s・cm<sup>2</sup>)

$S = (1 - \exp(-\lambda t))$  : 放射化飽和係數

$\lambda = 0.693/T$  : 放射性同位元素の壊变速度定数 (s<sup>-1</sup>)

$T$  : 放射能の半減期 (s)

*t* : 热中性子照射時間 (s)

式(2.1)で、 $K$ 、 $\sigma$ 、 $\lambda$ 、 $T$ は放射性同位元素(分析対象元素)固有の定数である。表2.1に半導体不純物として対象となる元素におけるこれらの定数を示した<sup>(1)</sup>。放射化飽和係数 $S$ は、中性子照射時間に対する放射性同位元素の生成の割合を示す値である。図2.1に $S$ を示した。この場合時間軸(横軸)は、半減期を単位とした照射時間である。この $S$ によってわからることは、分析対象元素を放射化するに必要な中性子照射時間である。半減期の短い放射性同位元素を対象とする場合は特に注意を要するが、半減期の6倍以上の時

表 2.1 放射性同位元素表  
Table of radio-isotopes.

元素	放射性核種		存在比(%)	放射化断面積 ( $\times 10^{-24}$ )	半減期	壊変定数 ( $s^{-1}$ )	放射線の種類とそのエネルギー (MeV)	
	Z	A						
Al	13	28	(K) 1.00	( $\sigma$ ) 0.18	(T) 2.4 min	( $\lambda$ ) $4.8 \times 10^{-3}$	$\beta$ : 2.87(100%)	$\gamma$ : 1.78(100%)
As	33	76	1.00	4.3	26.8 h	$7.18 \times 10^{-6}$	$\beta$ : 2.47(31%) 2.97(56%)	$\gamma$ : 0.56(45%) 0.66, 1.21
Au	79	198	1.00	96	2.69 day	$2.98 \times 10^{-6}$	$\beta$ : 0.96(99%)	$\gamma$ : 0.412(95.6%)
B	5	12	0.8117	0.05	0.027 s	$2.6 \times 10$	$\beta$ : 13.4	
Cl	17	36	0.754	53	$2 \times 10^6$ yr	$1 \times 10^{-14}$	$\beta$ : 0.714(98%)	
		38	0.246	0.6	37.5 min	$3.08 \times 10^{-4}$	$\beta$ : 1.11(31%) 2.77(16%) 4.81(53%)	$\gamma$ : 1.60(31%) 2.15(47%)
Cu	29	64	0.691	4.3	12.88 h	$1.5 \times 10^{-5}$	$\beta$ : 0.57(38%)	$\gamma$ : 1.34(0.6%) 0.51 from $\beta^+$
		66	0.309	2.1	4.34 min	$2.66 \times 10^{-3}$	$\beta$ : 1.59(9%) 2.63(91%)	$\gamma$ : 1.04(9%)
Fe	26	55	0.0584	2.1	2.7 yr	$6 \times 10^{-9}$	EC : (100%)	$\gamma$ : 0.0059 -Mn X-ray
		59	0.0031	0.32	46 day	$1.7 \times 10^{-7}$	$\beta$ : 0.27(46%) 0.46(53%)	$\gamma$ : 1.10(56%) 1.29(44%)
Ga	31	70	0.602	1.5	20.5 min	$5.63 \times 10^{-4}$	$\beta$ : 1.65(99.5%)	$\gamma$ : 0.17(0.2%) 1.04(0.5%)
		72	0.398	3.4	14.25 h	$1.34 \times 10^{-5}$	$\beta$ : 0.67(41%) 0.96(35%)	$\gamma$ : 0.63(19%) 0.835(88%) 0.89, 1.6, 2.2
Ge	32	71	0.2055	0.45	11.4 day	$7 \times 10^{-7}$	EC : (100%)	$\gamma$ : 0.0092 Ga-X-ray
		75	0.3674	0.40	89 min	$1.3 \times 10^{-4}$	$\beta$ : 0.92(11%) 1.19(87%)	$\gamma$ : 0.27(11%)
		77	0.0767	0.085	11 h	$1.6 \times 10^{-5}$	$\beta$ : 0.76, 1.20 1.56, 2.12	$\gamma$ : 0.21, 0.22 0.27, 0.37 0.42, 0.56
In	49	114	0.0423	61	48 day	$1.7 \times 10^{-7}$		$\gamma$ : 0.19
		114	0.0423	2	72 s	$9.6 \times 10^{-3}$	$\beta$ : 1.98	
		116	0.9577	145	53.9 s	$2.14 \times 10^{-3}$	$\beta$ : 0.85	$\gamma$ : 1.31
		116	0.9577	52	13 s	$5.3 \times 10^{-2}$	$\beta$ : 2.95	
Mn	25	56	1.00	12.8	2.59 h	$7.43 \times 10^{-5}$	$\beta$ : 0.75, 1.05 2.86	$\gamma$ : 0.845(99%) 1.81, 2.12
Na	11	24	1.00	0.5	14.8 h	$1.3 \times 10^{-5}$	$\beta$ : 1.39(100%)	$\gamma$ : 1.37(100%) 2.75(100%)
Ni	28	59	0.674	4.2	$5 \times 10^4$ yr	$4.4 \times 10^{-13}$		$\gamma$ : Co-Xray
		63	0.038	15	300 yr	$7.3 \times 10^{-11}$	$\beta$ : 0.05	
		65	0.0088	2.6	2.5 h	$7.7 \times 10^{-5}$	$\beta$ : 0.6(23%) 2.1(69%)	$\gamma$ : 1.11(13%) 1.49(18%)
O	8	19	0.002	$2.2 \times 10^{-4}$	29 s	$2.4 \times 10^{-2}$	$\beta$ : 2.9	$\gamma$ : 1.6
P	15	32	1.00	0.2	3.32 h	$5.8 \times 10^{-5}$	$\beta$ : 0.25(100%)	
Rh	45	104	1.00	11.8	4.4 min	$2.6 \times 10^{-3}$	IT : (100%)	$\gamma$ : 0.051(45%)
		104	1.00	137	42 s	$1.7 \times 10^{-2}$	$\beta$ : 2.4(98%)	$\gamma$ : 0.556
Sb	51	122	0.5725	6.8	2.8 day	$2.9 \times 10^{-6}$	$\beta$ : 1.42(63%) 1.99(30%)	$\gamma$ : 0.57(66%) 0.69(3%)
		124	0.4275	2.5	60 day	$1.3 \times 10^{-7}$	$\beta$ : 0.22, 0.63 2.31	$\gamma$ : 0.6(99%) 1.7(50%)
Te	52	122	0.0249		104 day			$\gamma$ : 0.159
W	74	185	0.306	2.1	74 day	$1.1 \times 10^{-7}$	$\beta$ : 0.43(100%)	
		187	0.284	37.2	24.1 h	$7.98 \times 10^{-6}$	$\beta$ : 0.62(64%)	$\gamma$ : 0.134, 0.48 0.686
Zn	30	65		0.5	250 day	$3.21 \times 10^{-8}$	EC : (98.5%)	$\gamma$ : 0.51 from $\beta^+$ 1.11(45%)
		69		0.9	13.8 h	$1.39 \times 10^{-5}$	$\beta$ : 0.91(100%)	

間の中性子照射は意味がない。これは、放射性同位元素の生成と壊変が、この時間で平衡に達することによるのである。

式(2.1)で与えられる放射能  $A$  は、熱中性子照射を連続に  $t$  時間行ない、直ちに取り出した時点での値である。この時点で、放射能  $A$  を測定すれば式(2.1)から  $N$ 、すなわち含有不純物量が求められる。普通一般には、中性子照射終了後ある時間経過した時点での放射能を測定している。この放置によって放射能は一定の割合で減少するので、それを考慮しなければならない。中性子照射終了後から測定までの経過時間を  $t'$  とすれば、放射能の減少率(壊変係数)  $d$  は、

$$d = \exp(-\lambda t') \dots \dots \dots (2.2)$$

ここで、 $\lambda$  は上述の壊変定数である。

図2.1に式(2.2)の値を、半減期を単位とした経過時間の関数として示した。放射化分析の実験の実際は、中性子照射時間として普通3日から10日程度必要であるが、この間連続に中性子照射を行なうことができないのが普通である。原子炉の1日の実動時間は5時間から8時間までであるから、残りの16時間から19時間に放

射能は減衰する。したがって、数日間の中性子照射によって得られる放射能は、原子炉の運転、休止のサイクルに従い放射化と壊変を交

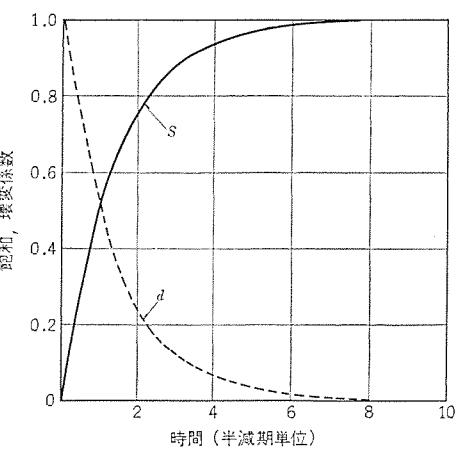


図 2.1 放射化飽和係数および壊変係数  
Growth and decay of radioactive isotope.

互に繰り返した結果により得られる。このような断続照射の場合の式(2.1)の放射化飽和係数は、式(2.2)の壊変係数  $d$  と組み合わせて求められる。第1回の照射を  $t_1$  から  $t_1'$  まで、第2回は  $t_2$  から  $t_2'$  まで、というように断続照射を行ない、最後に  $t_n'$  で照射終了したものとすれば、この照射の飽和係数  $S$  は、

$$S = (1 - \exp[-\lambda(t_1' - t_1)]) \cdot \exp[-\lambda(t_n' - t_1')] \\ + (1 - \exp[-\lambda(t_2' - t_2)]) \cdot \exp[-\lambda(t_n' - t_2')] \\ + \dots \\ + (1 - \exp[-\lambda(t_n' - t_n)]) \quad \dots \quad (2.3)$$

となる。

これまで、放射能すなわち安定同位元素が放射性同位元素に変換されることのみについて述べたが、変換の内容についてはふれなかった。これについては以下に述べる。一般に安定同位元素を放射性同位元素に変換する形態は、その元素の種類と照射する放射線(ガム線、中性子線、荷電粒子線)の種類で異なる。また照射する放射線を中性子線に限定しても、そのエネルギーによって変換形態が異なる。これを大きく二つに分けて考えると、(1) 中性子の捕獲によって放射性同位元素となるもの、(2) 中性子捕獲後、直ちに2次粒子線を放出したあとで放射性同位元素となるもの(核分裂によるものもこれに含める)とがある。(2)の形態は一般に高いエネルギーの中性子線で起こる(核分裂は熱中性子でも起こる)が、(1)はほとんど熱中性子領域でのみ起こり、原子炉を用いた放射化分析はこの形態によるものである。

(1)の変換形態では、生成放射性同位元素ははじめの安定同位元素より質量数が1だけ変わっただけであり、化学的には、なんら変化していない。この形態を(n,  $\gamma$ )と記すが、これは、中性子nを捕獲吸収して、捕獲時の余剰エネルギーをガム( $\gamma$ )線として放出し、放射性同位元素となることを示す。

(2)の場合は、中性子捕獲後放出する2次粒子線の種類・数によって、質量数の変化と原子番号の変化を伴う。これを記号で示すと、(n, p)：陽子の放出、(n,  $\alpha$ )： $\alpha$ 線(ヘリウム核)の放出、(n, 2n)：2個の中性子の放出、(n, f)：核分裂、などとなる。話を(1)の中性子の捕獲によるもの、特に熱中性子の捕獲によるものに限定して生成放射性同位元素を考え、その諸定数を表示したのが表2.1である。この表での放射化断面積  $\sigma$  は、熱中性子捕獲(n,  $\gamma$ )反応による、放射性同位元素生成確率である。

生成放射性同位元素からの放射線の種類は、ベータ( $\beta$ )線と $\gamma$ 線(X線も含める)である。この放射線のエネルギー、半減期(壊変係数)などは、放射性同位元素によって固有の値となっている。このことから、放射線のエネルギー、半減期の測定によって、対象となる放射性同位元素の種類を決めることができるわけである。さらにその放射線強度から、式(2.1)に従い、放射性同位元素の量を、ひいてははじめの安定同位元素(すなわち不純物元素)の量  $N$  を求めることができる。

## 2.2 放射能の測定

放射化された試料からの放射線を測定して試料中の元素を定量分析するには、精密な放射線測定が必要となる。ここで放射線の測定法が問題となるが、これは放射線の種類によって原理も装置も異なる。放射化分析の研究の初期には、GM計数管を用いて、 $\beta$ 線を測定する方法が行なわれていたが、放射化分析の立場では $\beta$ 線の測定による方法はきわめて繁雑である。これは $\beta$ 線の特質からくるものである。放射線の測定技術の進歩によって $\gamma$ 線の測定がより容易に、

より高精密化したことによって、最近では、もっぱら $\gamma$ 線の測定のみで放射化分析ができるようになった。もちろん、試料によっては $\gamma$ 線より $\beta$ 線の利用が分析に適するものもある(たとえば、りん)が、ここでは $\gamma$ 線の測定のみについて述べる。

$\gamma$ 線は、原子核から放射される単色エネルギーの電磁波である。 $\gamma$ 線のエネルギーおよびその強度を測定するには、通常シンチレーションカウンタと波高分析器(PHA)の組み合わせ、あるいは最近急速に使われだした半導体検出器(SSD)とPHAの組み合わせが用いられる。シンチレーションカウンタは、シンチレータ(けい光体:通常、よう化ナトリウム(Na I(Tl))が多く用いられる)と光電子増倍管・増幅器および計数装置より構成される。図2.2にその構成図を、PHAを含めて図示した。これの原理について簡単に述べる。

シンチレータに入った $\gamma$ 線は、シンチレータの構成原子に作用してそこから2次電子を放出させる。発生した2次電子は、シンチレータ中で光を誘発する。この光はシンチレータの外部に効率よく出され、光電子増倍管に導入される。光電子増倍管は、入射光をそれに比例した光電子出力として電気信号に変換する。この電気信号は、 $\gamma$ 線の1個1個に対応したパルス信号である。このパルス信号を成形、增幅してPHA(パルス計数器)に導入し、そのパルス波高値およびパルス数を測定すれば、 $\gamma$ 線のエネルギーおよび強度に比例した量が得られる。これについて若干説明を加える<sup>(1)</sup>。

まず、シンチレータで発生する光の量は $\gamma$ 線の作用で生じた2次電子のエネルギーに比例する。次に、 $\gamma$ 線の作用で発生する2次電子のエネルギーは、その発生機構の違いによるエネルギー値の違いはあっても、入射 $\gamma$ 線のエネルギーに比例した値である。 $\gamma$ 線とシンチレータとの相互作用によって2次電子が発生する機構は三つある。すなわち光電効果、コンプトン効果、電子対生成である。これらの発生機構の起こる確率の大きさは、シンチレータ構成原子の原子番号と入射 $\gamma$ 線のエネルギーによって非常に差がある。上述のシンチレータ、Na I(Tl)および、放射化分析で対象とする $\gamma$ 線のエネルギー:0.1 MeV~2.0 MeVでは、光電効果によるものが圧倒的に多い。さらに、光電効果で発生する二次電子のエネルギーは入射 $\gamma$ 線のエネルギーとほとんど等しいとしてよい。

これは、光電効果の二次電子は原子の外殻電子が $\gamma$ 線のエネルギーを全部吸収して出てくる電子であり、このとき要する電離エネルギーは、入射 $\gamma$ 線のそれに比べると無視できる値だからである。これらのこと考慮して、図2.2の光電子増倍管の出力を考えると、 $\gamma$

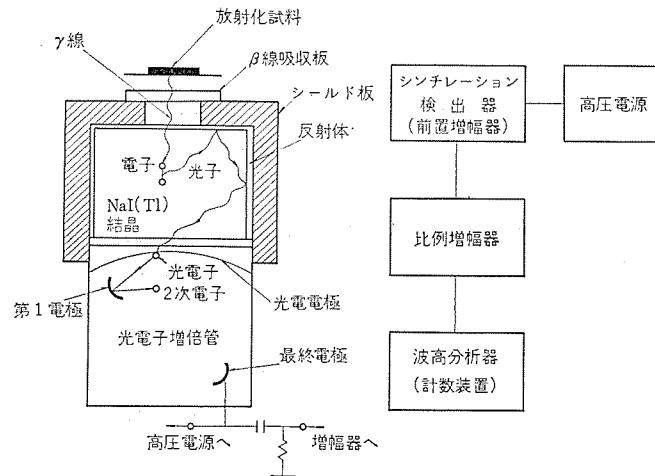


図2.2 シンチレータによる $\gamma$ 線計測の構成  
γ-ray measurement system with scintillator.

線のエネルギー値に相当した波高値を持つパルスが、 $\gamma$ 線の強度に比例した数だけできることになる。これを、横軸をパルス波高値、縦軸をパルス数とするXY座標に図示すると、特定のX軸上の点の上に立つ縦スペクタルとなる。

ただし実際には、シンチレータからの光にスペクトル分布があること、およびそれとの相関で生ずる光電子増倍管からの二次電子の発生量の広がりなどのために、線スペクトルはガウス形分布になる。 $\gamma$ 線の強度はこのガウス分布の面積に対応する。またこのガウス形分布の半値幅が、この測定器の良さ、すなわち分解能を示す。シンチレータと光電子増倍管の組み合わせで得られる分解能は高々 8% (ガウス分布の半値幅と、そのピーク位置との比) である。

さて、これまで光電効果によるもののみを考えてきたが、実際の $\gamma$ 線測定の結果得られるパルス出力のスペクトル分布は、光電効果のスペクトル以外に小さいながらコントラスト効果によるもの、電子対生成作用によるものが、光電効果のあと（低エネルギー側）に連続に分布したものとなる。さらには種々の電気的雑音が、低エネルギー側ほど大きくこの分布に付け加わるので、全体の分布は複雑な形となる。

図 2.3 に最も簡単な場合の例として, Cs-137 から放射する 0.662 MeV の  $\gamma$  線の測定例を示す。この図の右端のスペクトルが光電効果によるものであり, このスペクトルの最大値を示す位置が  $\gamma$  線 エネルギーを示し, スペクトル分布の全面積が放射線強度に対応する。放射化分析試料の測定データも図 2.3 と同様のものである。分析の立場で言えば, 横軸が不純物元素名を, 縦軸がその含有量を表わしているわけである。横軸と  $\gamma$  線 エネルギーとの対応関係は, 既知 エネルギーの  $\gamma$  線を放射する放射性同位元素(長寿命のもの)を用いて校正する。上述の Cs-137(0.662 MeV), および Co-60(1.17 MeV, および 1.33 MeV) などが校正によく用いられる放射性同位元素である。

次に放射線強度の測定値(実際は、ガウス分布スペクトルの全面積)と放射化された試料からの全放射線強度との対比を求める必要がある。すなわち、式(2.1)のA値と測定された放射線強度との関係を定量化する必要がある。放射化分析の立場では、測定試料中の含有不純物元素名がわかっている場合が多いが、その場合は対象不純物を既知量含有する標準試料を作製し、これを測定試料と同時に同一条件で放射化し、放射線測定を行ない、これを比較計算することによって、測定試料中の不純物含有量を求めることができる。

標準試料を用いずに不純物含有量を求めるには、上述のように測

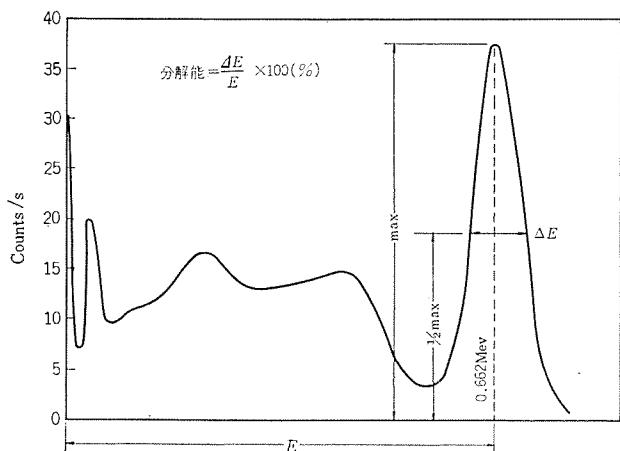


図 2.3 Na I (Tl) シンチレータで得られた Cs 137 の  
 $\gamma$  線 スペクトル  
 $\gamma$ -ray spectrum of Cs 137 with scintillator Na I (Tl)

定された実際の放射線強度から、試料中の不純物が放射化されて出す全放射線強度を計算で求める必要がある。このことは、測定される放射線は対象試料から出る放射線の一部分に過ぎないことに基因する。このためには、測定器の計数効率および光電効果比率を知らねばならない。計数効率に関しては、測定器と測定試料の寸法とその配置できまる幾何学的計数効率およびシンチレータの材料・形状寸法 $\gamma$ 線エネルギーなどで決まるシンチレータの計数効率がある。幾何学的計数効率は、測定試料からみた測定器の有効立体角である。シンチレータの計数効率は、シンチレータによる $\gamma$ 線の吸収効率および発生する光の発光効率と有効伝導効率である。図2.4にシンチレータの計数効率の例を示す。横軸は $\gamma$ 線エネルギー、パラメータは試料とシンチレータとの距離である。これらの数値は、シンチレータの大きさ、材料についてメーカーのデータとして提供されているので、それから引用することができます<sup>(2)</sup>。

光電効果比率とは、2次電子を生ずる $\gamma$ 線の吸収作用全体に対する光電効果の比率である。この比率は、シンチレータ材料と $\gamma$ 線エネルギーで決まる。図2.5に、Na I(Tl)の光電効果比率を示す。横軸は $\gamma$ 線エネルギーである。この値は一般値として理論的に求めうる値であり、データとしてよくそろっているのでこれを用いる<sup>(2)</sup>。以上に述べたことを式で表わせば次のようになる。

ここで

*A* : 放射化試料からの全放射線強度

式(2.1)のA

$A'$ ：放射化試料からの

$\varepsilon_1$  : 幾何学的計数効率

$\varepsilon_2$  : シンチレータ の 計 数

$\varepsilon_3$  : 光電効果の比率

試料中に分析対象元素に非常に近いエネルギーの $\gamma$ 線を放出する元素がある場合、高々8%の分解能しかないシンチレータではこれを分離して測定することがむりな場合がある。それゆえ特に非破壊分析の場合、高い分解能の測定器が要求される。シンチレータに代わって、その1/10以下の分解能を持った $\gamma$ 線測定器として、最近広く用いられたのがガルマコウム半導体検出器である。これは、 $\gamma$ 線が気体を電離してイオン対を作るよう、半導体結晶中でも電子・正孔

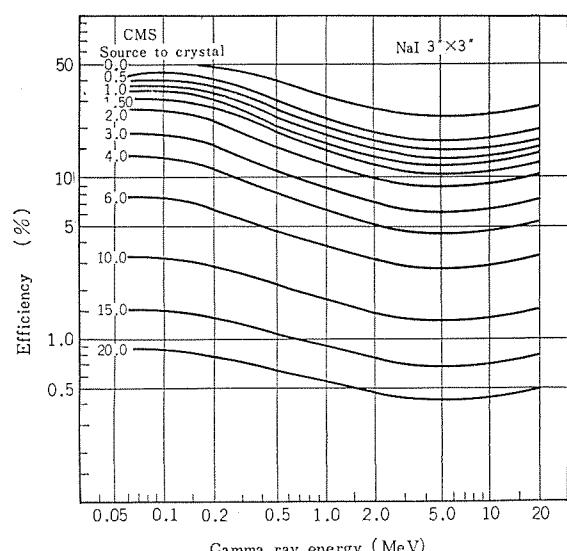


図 2.4 Na I (Tl) シンチレータ の計数効率  
Counting efficiencies of Na I (Tl) crystals

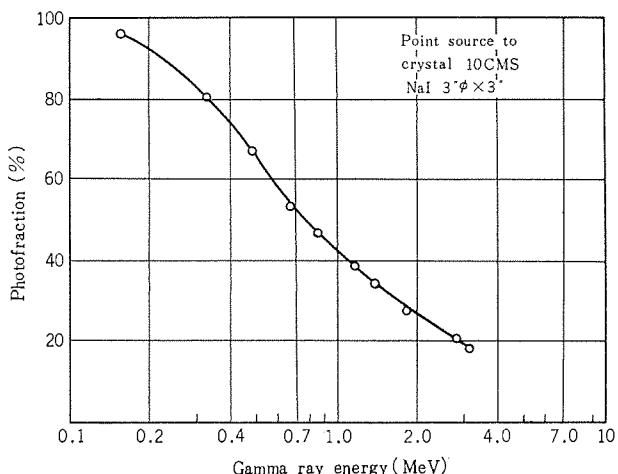


図 2.5 Na I (Tl) シンチレータでの光電ピーカー比率  
Photofractions for Na I (Tl) crystals.

対を作ることを利用したものである。すぐれた分解能を持っていることから、今後放射化分析には多く用いられるであろう。特に、多種の不純物を含有する試料の非破壊放射化分析には、その威力を発揮する。

半導体検出器はその分解能はよいが、検出効率がよくない。これについては検出有効容積を大きくするため、結晶の大形化と PN 接合部に広い空乏層(真性半導体領域)を作ることに工夫がこらされ、効率のよいものがはじめている<sup>(3)</sup>。

### 3. 半導体 Si 中の不純物の放射化分析

半導体 Si ウエハに含有する不純物を、放射化分析法を用いて定量した実験の数例を以下に述べる。個々の具体例を述べる前に、まず各実験に共通した実験準備・実験条件を述べる。

分析試料の形状寸法であるが、厚さについては、試料として普通のウエハを用いるかぎり(300  $\mu$  程度)自己吸収は問題にならない。面形状は円板状でよいが、その大きさは、原子炉の照射試料ケースの寸法で定められる。原子炉の試料ケースは、25  $\phi$  の筒状である(原子炉による)。したがって 20  $\phi$  ほどの大きさがよい。ここでは、32  $\phi$  のウエハを扇形に 1/4 に切断したものを用いた。照射準備作業でウエハ表面の汚染をさけるため、試料は清浄なアルミはく(箔)で包んだ。もちろん照射後の測定においてはこのアルミはくは除去する。アルミはくの照射中の影響は二次的な原子核反応として考えられるが、無視できる大きさである。試料の照射後のよごれは気にしないでよい。これは非破壊放射化分析法の一つの特長である。

試料中の分析対象元素があらかじめ推定できるものについては、照射前それら元素の放射化に関するデータを集め。これによって、必要な照射熱中性子線量を定め、用いる原子炉の性能と合わせてその照射スケジュールを定め、また照射後の試料の放射線計測スケジュールを定める。図 2.1 の飽和係数と同位元素の半減期から、必要照射時間を決めることができる。

放射化された元素からの放射線(この場合は  $\gamma$  線)強度は、対象元素の熱中性子放射化断面積、原子炉の熱中性子線強度、および推定含有量によって概略求められるので、これにより試料の計測の手順が決められる。この場合注意を要するのは、試料中の分析対象外の元素のふるまいである。試料中に、多量に放射化されやすい他の元素(競合元素といふ)が含まれている場合は、照射後の取り扱い

は、その放射線防護と計測の「バックグラウンド」の立場から十分検討を要する。分析対象元素の半減期が長い場合には長時間照射が行なわれる所以、他の対象外元素あるいは母材元素(Si)の放射化も十分行なわれる所以、試料は照射終了後安全な場所に長時間放置し、妨害放射線の減衰を待って計測する必要もある。逆に半減期の短い元素を対象とする場合は、照射後直ちに計測にかかる必要があり、注意を要する。これらのこととは事前に十分検討しなければならない。

ここで述べる実験に用いた原子炉(依頼照射)は、TRIGA-II 形原子炉である。その定格性能は、最大熱出力 100 kW、熱中性子束  $5 \times 10^{11}/s \cdot \text{cm}^2 \pm 20\%$  (100 kW 出力において) である。この原子炉の 1 日あたりの運転時間は、5 ~ 8 時間である。これまでに述べてきたように、原子炉運転時間およびそのサイクルは放射化分析実験において重要なデータの一つである。

放射化された試料からの  $\gamma$  線の測定は、図 2.2 で示した構成の測定器を用いた。シンチレータは、 $2''\phi \times 2''t$  の Na I (Tl)(ハルショウ製)である。波高分析器は 400 チャネルの PHA (TMC 製) を用いた。

一例として、Na が混入したとみられる試料について、その分析の手順と結果を述べる。Na 23(安定同位元素 100%) は熱中性子を吸収して放射性同位元素 Na 24(100%) となる。この核データは、表 2.1 より放射化断面積  $0.5 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ 、半減期 14.8 時間、放射  $\gamma$  線 エネルギー 1.37 MeV(100%) および 2.75 MeV(100%) の 2 本である。原子炉での照射時間は、半減期は短いが放射化断面積が小さいので 3 日(計 26 時間)とし、測定は照射終了後できるだけ早く行なうようにした。

放射化試料の  $\gamma$  線測定結果を図 3.1 に示した。図に Na 24 の 2 本の  $\gamma$  線ピークがきれいにでている。Na であることは、上述のように  $\gamma$  線ピークのエネルギー値とその減衰時間(半減期)で決めた。濃度定量は図の第 1 ピークすなわち、1.37 MeV のそれで行なった。ピークの下端に点線で「バックグラウンド」を示したが、計数はこれ以上のピークの面積で求めた。その結果 Na 濃度は  $5 \times 10^{16}/\text{cc} (\pm 20\%)$  となった。

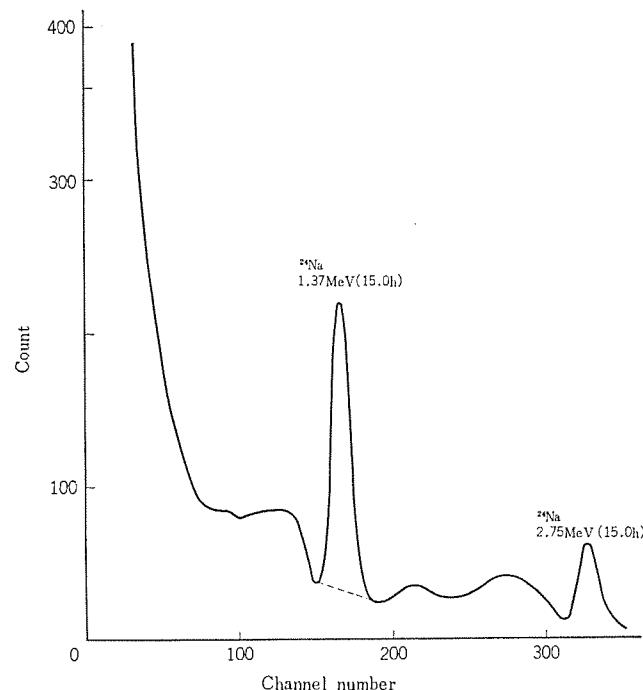


図 3.1 Na を含む試料からの  $\gamma$  線スペクトル  
 $\gamma$ -ray spectrum from activated sample contained sodium.

### 3.1 Si 中の Sb の定量

Sb ドープ N 形 Si ウエハを試料としてその Sb を例に定量方法を述べる。試料は  $0.01 \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.015 \Omega \cdot \text{cm}$  ( $2 \sim 5 \times 10^{18} \text{ atoms/cc}$ ) のものである。まず放射化分析手段の具体的な方法を述べる。

表 2.1 から、Sb は原子番号 51 で質量数は 121 と 123 のものが安定同位元素として存在することがわかる。その存在比は前者は 57.25 %、後者は 42.75 % でこれらは安定同位元素は原子炉で熱中性子を吸収して、それぞれ質量数 122 および 124 となり、放射性同位元素となる。表 2.1 のこれら同位元素の核データ、すなわち熱中性子放射化断面積、半減期および放射線の性質特に  $\gamma$  線のエネルギー等より、Sb の放射化分析では、2.8 日の半減期で 0.57 MeV の  $\gamma$  線を出す Sb 122 に注目するのが最適であることがわかる。放射化断面積も  $6.8 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$  でかなり大きな値である。これらのデータを用いて放射化の概略計算をすると前述の原子炉を用いても 3 日間の照射で十分放射化が行なわれ、測定も十分な時間をかけうることが推定される。

図 3.2 に上記試料を放射化して得られた  $\gamma$  線スペクトルを示す。縦軸は  $\gamma$  線の強度であるが、図では 4 分間の計数値を示した。横軸のチャネル数とエネルギー関係から各ピークのエネルギーがきまる。これだけから各ピークの  $\gamma$  線が Sb からのものであることがほぼわかるが、さらにピーク値の時間的変化が半減期に合致するかを調べ、また複数のピークの場合には、特に各ピークの強度比を求めてそれが核データと合致するかを調べることによって明確に決定できる。

図の各ピークにこのようにして同定した同位元素名を記した。表 2.1 に記していないが Sb 122 の 2.8 日の半減期を持つ  $\gamma$  線には、0.57 MeV 以外に、放出率の小さい 0.7 MeV、1.14 MeV、1.25 MeV のものが含まれる。図には、これらのエネルギー近傍にピークが認められる。また図の右端には、Sb 124 から出る半減期 60 日、エネルギー 1.7 MeV の  $\gamma$  線ピークがある。しかしこのピークは、Sb 122 の 0.57 MeV に比べてけた違いに小さい（図の右半分のスペクトルは 50 倍してある）。

Sb の定量すなわち含有量は、図 3.2 の  $\gamma$  線スペクトルのうち Sb 122 の 0.57 MeV ピークを用いて求める。ピークの下端部分（点線で示した）はバックグラウンドとして切り捨てて、これ以上のピーク面積を求

めて（この間に入る各チャネルあたりの  $\gamma$  線計数の総和）、これを 0.57 MeV  $\gamma$  線の全計数値とする。この全計数値と前述の効率  $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ 、 $\epsilon_3$  を使って、試料からの全放射能強度を求め（式（2.3））、最後に式（2.1）の関係から Sb の含有量が求められる。計算の結果、Sb の含有濃度は

$$1.7 \times 10^{18} / \text{cc} \text{ (精度} \pm 20\% \text{)}$$

となった。この値は比抵抗から求めた値とかなりよく一致する。

### 3.2 Si 中の As の同定・定量

放射化分析法は、まったくの未知試料を同定・定量することはかなり困難であるが、他の手段で不純物が一応推定されている場合、最終的にこれを決定し、また定量するにはきわめて有効である。このような例を次に述べる。

N 形 Sb ドープ  $0.01 \Omega \cdot \text{cm}$  と称する Si ウエハをエピタキシャル基板に使用した結果、異常なオートドープが認められた。これより、このウエハはドーパントの誤り、すなわち As または P（りん）の混入が予想された。これをもとにこのウエハ中の不純物の同定・定量を行なってみた。実験手順は一応 Sb のそれと同じとした。ただ、放射化後測定に早くとどかかる、スペクトルの時間変化を調べる、の 2 点に注意することにした。約 3 日間の中性子照射後、半日ほどおいて測定をはじめ、12 時間おきに測定を行なった。

図 3.3、3.4、3.5 に 2 日おきの測定結果 3 枚を示した。ここで、最後の図 3.5 は図 3.2 とほとんど同じであり、図 3.3 からの変化と合わせて考えると含有不純物はかなり短寿命元素であることが推定できる。図 3.3 の真中のピークは、エネルギー 1.21 MeV であり、またこの時間変化を調べて、半減期は約 27 時間であることがわかった。これらのデータを表 2.1 と対応させることにより、混入不純物は As と同定できる。

As の熱中性子吸収による放射性同位元素は As 76 (100 %) で、半減期 26.8 時間、放出  $\gamma$  線の主なものは 1.21 MeV (5.3 %) 0.66 MeV (6.3 %) 0.56 MeV (45 %) である。これらから As は Sb とほとんど同じような  $\gamma$  線を放出することがわかる。すなわち図 3.3 の第 1 ピーク (0.57 MeV) 第 2 ピーク (1.21 MeV) 第 3 ピーク (1.7 MeV) には Sb の  $\gamma$  線が多く混入している。このような場合、一般には非破壊放射化分析は困難である。しかしこの場合 1.2 MeV の近傍に注目すると、その近くでの Sb  $\gamma$  線が小さい（図 3.2）にもかかわらず、図 3.3 ではかなり高ピークとなっていることに着目し、このピークの時間変化からドーパントとして Sb の外に As の存在が決定できた。

次にその定量であるが、Sb  $\gamma$  線の混入とさらに悪いことには、As の半減期が Sb のそれよりもかなり短いため、大きな誤差がはいつくるのは避けられない。定量は、図 3.3 の 1.21 MeV ピークから Sb の  $\gamma$  線 1.14 MeV および 1.25 MeV を（図 3.3 点線以下）引去った残りの計数値より求めた。これから As 含有濃度は  $1 \times 10^{17} / \text{cc}$  となった。同じ試料を質量分析計で分析した結果、不純物は As であり、その濃度は上記の結果の 2 倍であった。濃度が放射化分析の場合小さくなかったのは、重ね合わせたピークから As を求める操作に問題があるからであろう。この問題は、エネルギー分解能のすぐれた半導体検出器を用いれば解決されるものと思われる。

### 3.3 Si 中の Au の定量

Si の半導体素子、特に高速素子において Au の役割は重要である。それは Au が Si 中でキャリアの再結合中心を形成し、キャリアの寿命を短くする働きをするためである。したがって、Au の濃度制御技術

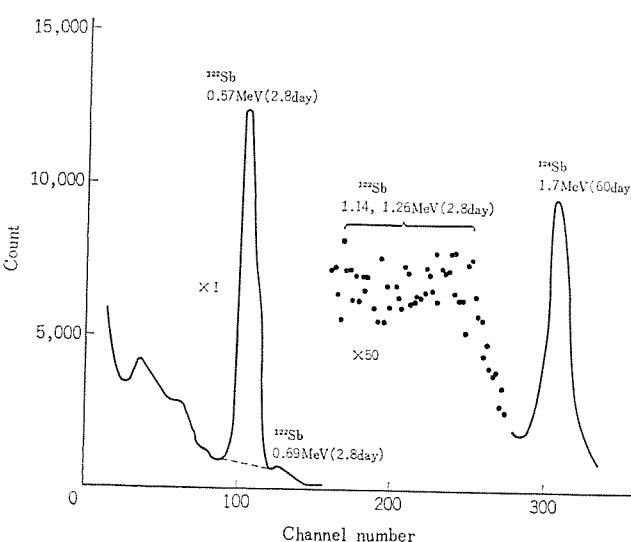


図 3.2 Sb を含む Si から  $\gamma$  線スペクトル  
 $\gamma$ -ray spectrum from activated silicon wafer contained antimony.

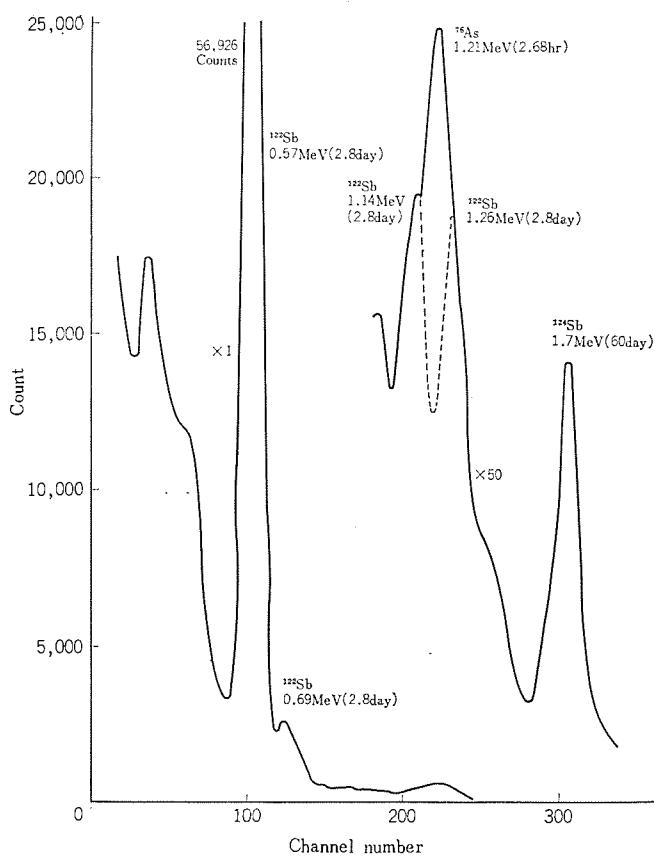


図 3.3 Sb, As を含む Si からの  $\gamma$  線スペクトル (I)  
 $\gamma$ -ray spectrum from activated silicon wafer  
 contained antimony and arsenic (I).

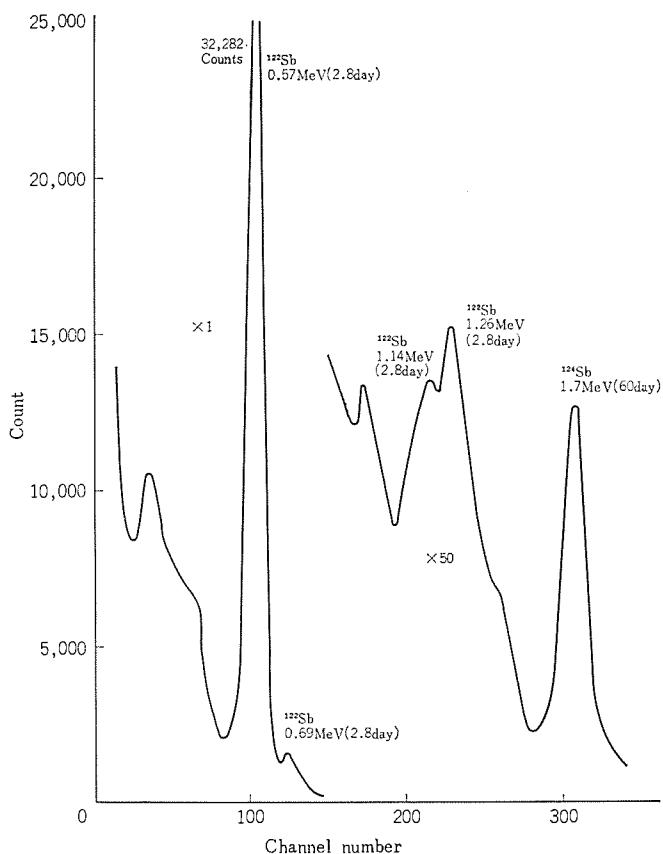


図 3.4 Sb, As を含む Si からの  $\gamma$  線スペクトル (II)  
 $\gamma$ -ray spectrum from activated silicon wafer  
 contained antimony and arsenic (II).

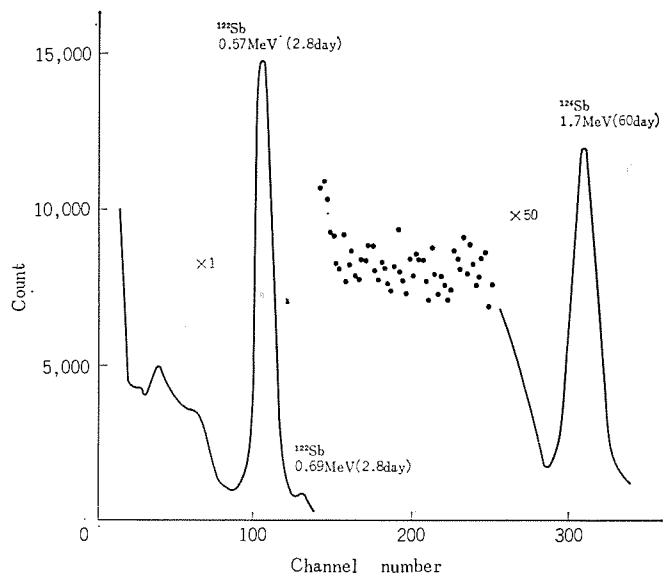


図 3.5 Sb, As を含む Si からの  $\gamma$  線スペクトル (III)  
 $\gamma$ -ray spectrum from activated silicon wafer  
 contained antimony and arsenic (III).

術は、素子製造技術上重要である。濃度制御を云々する場合、その基礎技術としてまず濃度定量技術が確立されていなければならぬが、放射化分析法は、Au に対しては特に有効な分析法である。

分析の手順はこれまで述べてきたのとまったく同じであるから、結果を簡単に述べる。用いた試料は、N 形 (りんドープ；濃度  $10^{14}/\text{cc}$ ) Si ウエハに Au を拡散したものである。比抵抗の値から求められた Au の濃度は  $1 \times 10^{16}/\text{cc}$  であった。

安定同位元素 Au 197 (存在比 100 %) は、原子炉の熱中性子を吸収して放射化され、放射性同位元素 Au 198 となる。この同位元素に関する核データは、表 2.1 から、熱中性子放射化断面積  $9.6 \times 10^{-23} \text{ cm}^2$ 、半減期 2.7 日、放射する  $\gamma$  線エネルギー 0.41 MeV (95.6 %) である。これらからわかるように、Au は放射化断面積が大きく、半減期は適切な値であり、さらに放射する  $\gamma$  線は 1 本であるなどから、放射化分析にとっては好都合な元素である。

図 3.6 に得られた  $\gamma$  線スペクトルを示す。照射後すこし時間をおいての測定結果であるが、非常に単純なスペクトルを示していることがわかる。図にはスペクトルの Au 部分のみを 10 倍に拡大して重ねて書いておいたが、この拡大された部分で放射線強度を求めた。その結果、Au 濃度は  $1.5 \times 10^{17}/\text{cc}$  となった。

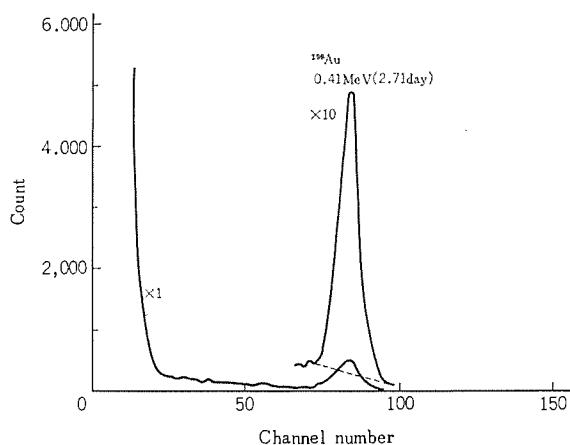


図 3.6 Au を含む Si からの  $\gamma$  線スペクトル  
 $\gamma$ -ray spectrum from activated silicon wafer  
 contained gold.

放射化分析で得られたこの結果は、前述の比抵抗からの値よりも1けた大きい。この原因是、ここでは推定でしかないが、比抵抗に寄与するAu原子は、Si結晶中で活性化されているものに限られること、一方放射化分析は含有元素の絶対量を示すためと考えられる。Auの拡散濃度をいろいろ変えてやった実験の結果、 $10^{15}/\text{cc}$ 濃度以上では、その差が上述のように大きくなり、それ以下ではほぼ一致することがわかった。なお、放射化分析の結果は分光分析の結果とよく合うようである。

#### 4. む す び

原子炉を用いた熱中性子放射化分析法を、半導体Si中の不純物分析に、非破壊分析法として適用した実験の数例を述べた。その結果は濃度にして $1 \times 10^{17}/\text{cc}$ 以上のものであり、放射化分析の検出限度 $3 \times 10^{12}/\text{cc}$ (Auの場合)よりはるかに多い含有量のものであった。検出限度近傍での分析は濃度分布測定において重要であるが、これについては別稿にて述べたい。 $\gamma$ 線の測定はシンチレータを用いたが、こみいった不純物の分析のためには半導体検出器が有効である。放射化手段としては、熱中性子以外に加速器からの荷電粒子線、X線

(制動ふく射)が、不純物によって有効である。また、表面層のコントミ不純物分析には陽子線、アルファ線の原子核散乱手法が有効である<sup>(4)</sup>ので今後の測定にはこのような手法をとり入れたい。

最後に、ここで述べた実験の遂行にあたり種々のご協力ご指導をいただいた関係各位に心から感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- (1) 放射化分析の一般解説書
  - (イ) 日本化学会：新分析化学講座4、放射化学分析法、共立
  - (ロ) C. E. クルートヘイル(岡田、亀本訳)：応用ガンマ線スペクトロメリー、産業図書
  - (ハ) 日本物理学会：物理分析法、朝倉書店
- (2) Harshaw chemical Comp. : Scintillation Phosphors (2nd edition) 1962
- (3) 坂井英次：原子力工業、15, No. 9, 19 (1969)
- (4) O. U. Anders : Analytical Chemistry, 38, No. 11, 1442 (1966)

## 新形小容量サイリスタインバータ

民井 精三\*・徳富 義宏\*

## Improved Auxiliary Impulse-Commutated Inverters

Communication Equipment Works Seizo TAMII・Yoshihiro TOKUTOMI

It is a well known fact that static inverters have many merits in the points of reliability, maintenance and electric performance in comparison with the conventional motor generators. They are used in very many fields as spare power sources, emergency power sources and general frequency converters for rolling stock, electric power station, communication equipment and computers. However, they have had a few drawbacks in economy and dimensions compared with the motor generators. With the increase of demands, a desire has arisen for inverters improved of these demerits, consuming less battery power when used for spare power sources and being compact and economical with higher performance in various points. Mitsubishi has made studies and been successful in developing epochal inverters to answer the demand, the brief description being made herein.

## 1. まえがき

静止形インバータは、信頼性・保守性・電気性能の各面で従来のMGと比較し、すぐれていることはすでに周知のことであり、多くの分野においてはん用の直流交流変換器、予備電源、無停電電源および周波数変換器として使用されているが、これら用途の拡大に伴い市場はさらに小形で経済性のよいインバータを要求してきつつある。これに対処するには、従来の回路方式では機構的な手法による小形化のほかにないが、新方式では、そのために回路そのものを従来のものよりも大幅に簡略化し、構成部品数を約1/2に減少して実現しようとするものであって、種々検討の結果、今回この方式の開発に成功し、この方式を使って標準化を行ないSSI形として発表した。

以下この方式の回路構成・動作原理を説明し、合わせて標準品種とその特性例を紹介する。

## 2. SSI形インバータとその特長

図2.1はこのSSI形インバータの回路である。図2.2はこの回路とほぼ同等の性能をもつ従来方式の代表的インバータ回路図である。新方式回路は、一見構成が従来の並列形インバータに類似しているがパルス幅制御ができ、さらに回路構成部品の利用率がきわめて高い点で大きく異なっている。しかし並列形の特長である回路の簡略さは十分生かされており、図2.1からもわかるように、SSI形インバータの構成回路部品数は従来の半分以下ですみ、そのうえ点線でかこんである部分の半導体は、絶縁せずに一つのフィンに取り付けることができるため、取付と同時にほぼスイッチング回路部の配線が完了する。

したがって、従来のように数多いフィンの絶縁や配線のわざらわしさを解消できる。さらにSSI形では、フィルタ構成要素の中で最も寸法の大きい基本波に共振するリアクトルを、出力トランジスタの寸法を大きく変更することなく出力トランジスタにかねさせ、そのリアクトルを省略しているためフィルタ部も約2/3に小形化できる。

動作機能面でも、従来の転流方式では1回の転流に1度ずつ電源から転流コンデンサにエネルギーを蓄積し、転流時にはそのエネルギーをリアクトルに移しサイリスタを転流させ、その後リアクトルに残ったエネルギーを帰還トランジスタを通し整流して、電源に帰還していたのに対し、

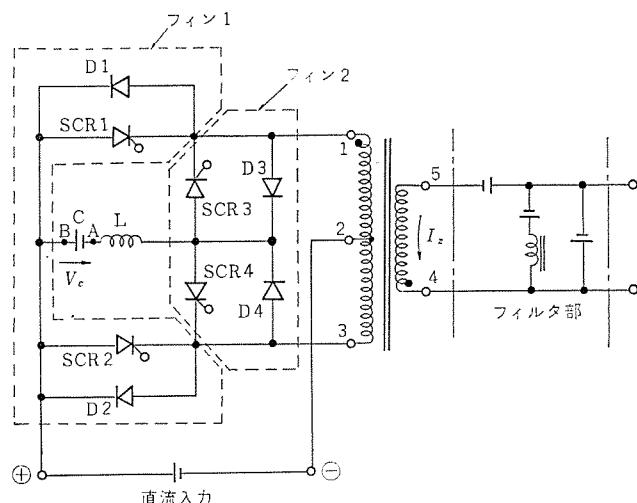


図2.1 SSI形インバータ  
Improved auxiliary impulse-commutated inverter.

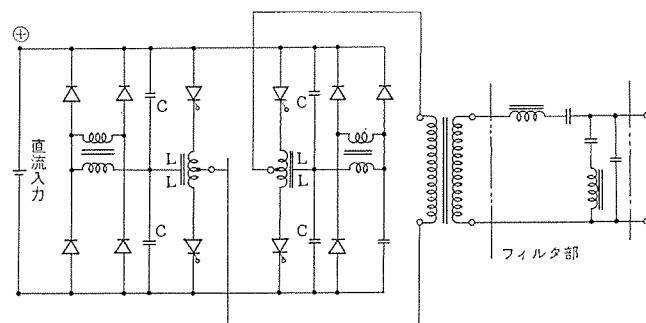


図2.2 従来の PWMブリッジ形インバータ  
Complementary impulse-commutated inverter.

SSI形では1回の転流により消費した分だけを電源から補充する方式であるため、エネルギーの移動ルートが少なく効率が大幅に改善される。この傾向は商用周波数よりもさらに高い出力周波数のインバータで顕著である。また転流エネルギーの帰還トランジスタ等の騒音源となる磁性部品が不要であるため、騒音も少ない等の特長がある。ここでこのインバータ方式の特長を整理する

(1) きょう(筐)体内的部品占有率を上げることなく、インバータ全体の寸法・重量を1/2程度に小形化できる。

(2) インバータの変換効率を大幅に改善できる。

たとえば 1 kVA の正弦波出力 インバータの場合、従来 65% 程度であったが 80% 程度にできる。

(3) 部品数が少なく、さらに効率がよいため各部品に加わる熱的ストレスが少くなり、信頼度は従来の 2 倍以上にできる。

(4) 磁性部品が少ないため騒音を小さくできる。

(5) 制御回路により インバータの起動-停止が制御できるため、遠隔制御および特殊な外的条件に対する保護がしやすい。

(6) スイッチング回路の PWM 出力波形（パルス幅変調波形）が良好のため多重・多相にしやすい。

(7) ユニット化すれば組み合わせにより、大容量化が容易にできる。

(8) 商用周波数より高い出力周波数 (400 Hz 等) でも効率の低下が少ない。

(9) 経済性がよい。

等、飛躍的な長所をもっているが、一面動作の安定限界を調べる必要があるため、従来のものより設計がむずかしく、計算機等による総合的な性能設計を行なう必要がある。

### 3. 動作原理

図 2.2 の従来方式について一般によく知られ、本誌 40 卷 2 号 “小容量 サイリスタインバータ” の項でも詳述してあるため図 2.1 の SSI 形についてのみ説明する。

図 3.1 は図 2.1 の回路の各部の動作波形である。今、説明のためおくれ力率の負荷を接続し、次の定常動作を考える。

(1)  $t_0 \sim t_2$  期間では、サイリスタ SCR 1 には図 3.1 (e) の点線で示す  $V_{g1}$  のゲート信号を印加しており、同図の実線で示すようにこの区間では、SCR 1 は ON である。一方出力トランスの①-③間では図 3.1 (a) ( $t_0 \sim t_2$ ) のような波形となる。図 3.1 (b) は出力トランスの二次側に流れる負荷電流であり、0 レベルより上側はトランスの端子⑤→④に向って流れる電流である。したがって、一次側ではトランスの端子①→②の方向の電流となり、直流入力から SCR 1 を通して流れている。また  $t_1$  の時点では、転流コンデンサ C の充電電圧は図 3.1 (c) のように A 側が ④ の状態になっている。

(2)  $t_2$  の時点で SCR 1 のゲート信号  $V_{g1}$  をなくすと同時に SCR 3 のゲートに図 3.1 (g) のゲート信号  $V_{g3}$  (ロ) を印加すると、SCR 3 は ON となる。この時点では、転流コンデンサ C に蓄積されていた電荷と直流入力電源により、トランスの一次側の端子①-②間に励磁し、SCR 1 に逆バイアスをかける。実質的には SCR 1 に逆並列にダイオードを接続しているため、この逆バイアス期間のトランスの①-②間の電圧は、直流電源電圧+ダイオード  $D_1$  の電圧降下分にクリップされる。このとき C の電荷はほぼ  $D_1$  を通して放電し、図 3.1 (c) のように反転するが、この逆バイアス時間によりサイリスタ SCR 1 は OFF を回復し電源をしゃ断する。

(3)  $t_3$  の時点ではほぼ転流コンデンサ C の電位が反転し、放電電流は負荷電流以下となり、SCR 1 の逆バイアスは消滅する。しかし図 3.1 (b) に示すとおり、トランスの二次側の電流は ⑤→④ の方向に流れ続けようとしており、一方一次側ではまだ SCR 3 は ON であるため、この電流は図 3.1 (k) に示すようにダイオード  $D_4$ -SCR 3-トランスの一次側の端子①→③のループで流れ、トランスの一次側を完全に短絡している。この結果、図 3.1 (a) のような電圧の休止期間をつくり、無効電力の循環ループを確保し負荷側にあるフィルタ

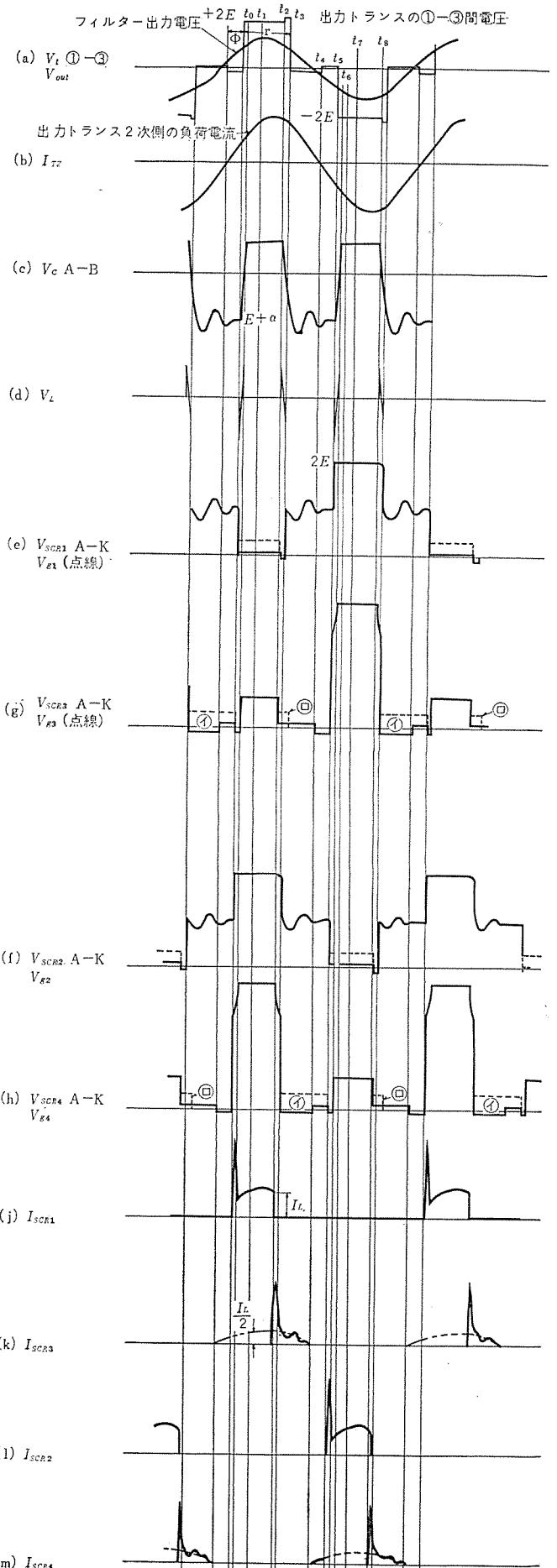


図 3.1 おくれ力率時の各部動作波形  
Operating waveforms with a lagging load.

のQを上げて出力電圧の波形ひずみを少なくしている。また、転流コンデンサCが前記の充放電によって消費したエネルギーは、この期間に直流電源④→転流コンデンサC→サイリスタSCR3→トランスの端子①→②→直流電源⑤のルートを通じ完全に補充される。またt<sub>3</sub>の時点でも図3.1(h)のようにSCR4にもゲート信号を加え、いずれの方向の電流に対しても、トランスの一次側が完全に短絡できるようにしている。

(4) t<sub>4</sub>の時点ではトランスの二次側に流れる電流は反転しようとしており、したがってこの点以後はトランスの端子④→⑤の方向の電流となる。一方一次側のSCR4には、すでにゲート信号Vg3が印加されているため、D<sub>4</sub>に流れる電流により加わっていた逆バイアスが零となる点でSCR4はONとなって、t<sub>3</sub>→t<sub>4</sub>の期間と同様にトランスの一次側端子③→①→ダイオードD<sub>3</sub>→SCR4のルートで無効電力の短絡ループを確保している。このときSCR3はD<sub>3</sub>に流れる電流によって逆バイアスが印加され、OFFとなる。

(5) t<sub>5</sub>→t<sub>6</sub>の期間では、図3.1(f)に示すように、SCR2にゲート信号がはいりSCR2はONとなる。直流入力電圧は出力トランスの端子③→②間に加わり、図3.1(a)のように、t<sub>0</sub>→t<sub>2</sub>の期間と逆方向の電圧を供給する。また、SCR2がONとなると同時にSCR4は逆バイアスされOFFとなる。同時に転流コンデンサCに蓄積していた電荷は、SCR2→D<sub>4</sub>→転流リクトルLを通して放電する。

(6) t<sub>6</sub>の時点では転流コンデンサCの放電が終了し、コンデンサのA側が④となり、次のSCR2の転流にそなえる。

(7) したがってt<sub>5</sub>→t<sub>6</sub>の期間は、SCR1がONの場合のt<sub>0</sub>→t<sub>2</sub>の期間と極性が異なるだけで、説明は詳略するがまったく同様の動作をくりかえし、負荷に電力を供給するものである。

次にトランスの二次側に流れる電流が、進み力率の場合の動作を図3.2に示す。この場合電流はt<sub>2</sub>の時点より早くt<sub>10</sub>の時点で反転している。この斜線で示す部分の電流はダイオードD<sub>1</sub>を通して流れ無効電力を電源に帰還するモードとなる。したがってt<sub>10</sub>の時点です

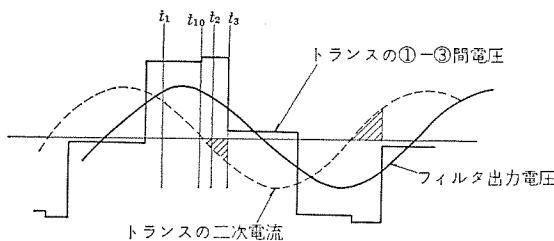


図3.2 進み力率時の動作波形  
Operating waveforms with a leading load.

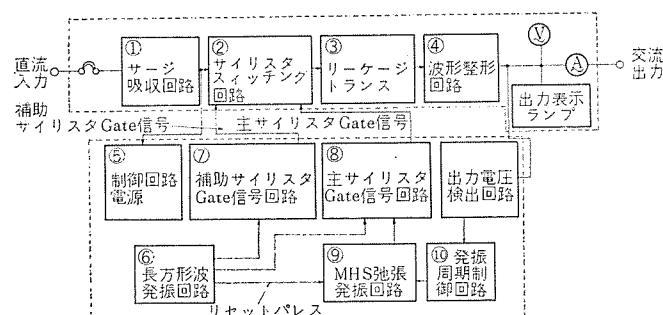


図3.3 SSI形インバータブロック図  
Block diagram of improved inverter.

SCR1には逆バイアスが加わり実質上OFFとなる。

次に転流定数の大きさについて、従来の回路と比較してみると次のようになる。SSI形に適用できる転流方式および、従来方式の各転流定数は前述の40巻2号“小容量サイリスタインバータ”に掲載したので、詳細は省略するがSSI形のL.Cは

$$C = 0.893 \frac{I_0 t_{00}}{V_c} \approx 0.893 \frac{I_0 t_{00}}{E} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$L = 0.397 \frac{V_c t_{00}}{I_0} \approx 0.397 \frac{E t_{00}}{I_0} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

従来方式のLおよびCは

$$C = \frac{I_0 t_{00}}{0.425 E} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$$L = \frac{E t_{00}}{0.85 I_0} \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

であり、Cは4個、Lはセンタップの一方の値であるから4Lのものが2個必要である。

ここで、I<sub>0</sub>…サイリスタの転流電流

t<sub>00</sub>…サイリスタのターンオフタイム

E…直流電源電圧

したがって、同一仕様のインバータを同一サイリスタで製作する場合、転流回路定数としてはCで1/10.5、Lで1/12にでき、Cの利用率を上げたことによるCの寸法増加を考えても、転流回路全体では約1/5に小形化が可能である。出力電圧の安定化には従来と同じくPWM制御により行ない、これにより図3.1(a)のように休止期間を有する長方形波に含まれる基本波形成分を制御している。式(3.5)は、図3.1(a)の波形をFourie級数に展開したもので、基本波形成分が休止角により制御できることを示している。

さらに、従来方式では波形整形フィルタとして、基本波に共振するL.C直列共振回路のリクトルを別に設けていたが、この直列リクトルは負荷インピーダンスとほぼ同程度のものが必要となるため、その体積は出力トランスの1/2程度となっていた。しかしSSI形では、このリクトルにトランスのリーケイジインダクタンスを利用し、これを省略している。この場合、インダクタンスの電流依存性によってフィルタ動作特性が左右されるが、この問題については別の機会に発表したい。

このようにSSI形インバータでは、回路構成上で簡略化でき、さらに部品の利用率を上げたため寸法的には大幅に改善されている。放熱フィンもサイリスタ、ダイオードの組み合わせをかえ、SCR1、SCR3、D<sub>1</sub>、D<sub>3</sub>を1個のフィンにSCR2、SCR4、D<sub>2</sub>、D<sub>4</sub>を別の1個フィンに組み熱的なバランスをとることも可能である。

$$e = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4E}{n\pi} \left( \sin \frac{n\gamma}{2} \right) (\cos n\omega t) \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$n=1, 3, 5 \dots$$

図3.3は主回路にこのSSI形を使ったインバータ装置全体のブロックダイヤグラムである。

#### 4. 新方式インバータの性能

以前に発表した三菱標準品についてはすでにこのSSI形に変更を完了しているが、次にこの方式による標準性能とその代表例として、SSI63-62形、およびSSI63-56形の特性を紹介したい。さらにこの方式を従来のトランジスタインバータの分野である低入力電圧、小容量インバータに実施した場合の特性をも紹介する。表4.1～表4.4は、

表 4.1 50/60 Hz 用サイリスタインバータ標準仕様  
Specifications of standard thyristor inverter for 50/60 Hz.

入力電圧	DC 入力時 90 V/100 V/110 V ±20% AC 入力時 1φ 100 V または 3φ 200 V ±15%
出力電圧	SSI 62・63-50 シリーズ 100 V SSI 62・63-60 シリーズ 200 V
出力電圧変動率	±4% 以内
周波数	SSI 62 シリーズ 50 Hz ±1 Hz 以内または ±0.005% SSI 63 シリーズ 60 Hz ±1 Hz 以内または ±0.005%
出力波形	正弦波 高調波含有率 5% 以内
過負荷耐量	130% 10 分間 200% 1 秒間
負荷力率	進み力率 0.95 ~ 力率 1 ~ 遅れ力率 0.7 の全範囲
許容入力サージ	標準雷波形にて 1,500 V のサージに対し異常がない。
絶縁耐圧	AC 2,000 V 1 分間
使用温度範囲	-10°C ~ +45°C
保護回路	負荷短絡等の異常時には、半導体化・検出回路により約 10 ms で入力側ノーヒューズシャン断器を開放する。
メータ・表示・スイッチ	出力電圧計・出力電流計・入出力表示灯・入力側ノーヒューズシャン断器を備えている。 (その他要求により任意に追加できる。ただし、内容)により寸法が少し異なる場合がある。

表 4.2 50/60 Hz 用サイリスタインバータ標準品種  
Standard inverter list for 50/60 Hz.

形式		出力容量 (kVA)	DC 入力時 (%以上)	外形寸法	
100 V 出力	200 V 出力			DC 入力用	AC-DC アダプタ付
SSI 62-51 SSI 63-51	SSI 62-61 SSI 63-61	0.5	75	A=300 B=480 C=400	A=400 B=480 C=400
SSI 62-52 SSI 63-52	SSI 62-62 SSI 63-62	1	80	A=500 B=400 C=450	A=700 B=400 C=450
SSI 62-53 SSI 63-53	SSI 62-63 SSI 63-63	1.5	80	A=800 B=560 C=450	A=800 B=560 C=450
SSI 62-54 SSI 63-54	SSI 62-64 SSI 63-64	2	85	A=800 B=560 C=450	A=800 B=560 C=450
SSI 62-55 SSI 63-55	SSI 62-66 SSI 63-66	3	85	A=1,000 B=560 C=450	A=1,200 B=560 C=450
SSI 62-58 SSI 63-58	SSI 62-68 SSI 63-68	5	88	A=1,500 B=560 C=450	A=1,800 B=560 C=450

SSI 62 シリーズ……50 Hz 用  
SSI 63 シリーズ……60 Hz 用

商用周波および 400 Hz インバータの標準仕様とその標準品種である。

#### 4.1 電気性能

インバータの場合、出力電圧安定化率、出力周波数変動率等、特性を表わす基準となるものは数多いが、これらは制御回路の設計上の問題であるのに対し、効率については、インバータ方式上の問題であり特に重要である。2 章でも述べたとおりに、この方式は転流回路そのものの利用率はもちろん、そのエネルギーの利用率もきわめてすぐれでおり、高効率が得られるポイントである。

図 4.1、図 4.2 は、SSI 63-62 形 (1 kVA 60 Hz 200 V 出力) の効率、電圧安定化率、ひずみ率を示し、図 4.3、図 4.4 は SSI 63-56 形 (3 kVA 60 Hz 100 V 出力) のものを示している。これらの図からもわかるとおり、1 kVA 出力インバータでも 81% の効率が得られ、3 kVA では 86% の効率を得ている。電圧安定化率等は、

表 4.3 400 Hz 用インバータ標準仕様  
Specifications of standard thyristor inverter for 400 Hz.

入力電圧	DC 入力時 90/100/110 V ±20% AC 入力時 1φ 100 V または 3φ 200 V ±15%
出力電圧	SSI 65-50 シリーズ 115 V SSI 65-60 シリーズ 200 V
出力電圧変動率	±4% 以内
周波数	400 Hz ±1%
出力波形	正弦波 高調波含有率 5% 以内
過負荷耐量	130% 10 分間 200% 1 秒間
負荷力率	1~遅れ力率 0.5
絶縁耐圧	AC 1,500 V 1 分間
使用温度範囲	-10°C ~ +45°C
保護回路	負荷短絡等の異常時には半導体化・検出回路により約 10 ms で入力側ノーヒューズシャン断器を開放する。
メータ・表示・スイッチ	出力電圧計・出力電流計・入出力表示灯・入力側ノーヒューズシャン断器を備えている。 (その他要求により任意に追加できる。ただし、内容)により寸法が少し異なる場合がある。

表 4.4 400 Hz 用インバータ標準品種  
Standard inverter list for 400 Hz.

形名		出力容量 (kVA)	DC 入力時 (%以上)	外形寸法	
115 V 出力	200 V 出力			DC 入力時	AC-DC アダプタ付
SSI 65-59	SSI 65-69	0.25	70	高さ A=250	高さ A=400
				幅 B=480	幅 B=480
				奥行 C=350	奥行 C=400
SSI 65-51	SSI 65-61	0.5	70	高さ A=250	高さ A=400
				幅 B=480	幅 B=480
				奥行 C=350	奥行 C=400
SSI 65-52	SSI 65-62	1	75	高さ A=400	高さ A=500
				幅 B=480	幅 B=480
				奥行 C=400	奥行 C=400
SSI 65-54	SSI 65-64	2	80	高さ A=500	高さ A=700
				幅 B=400	幅 B=400
				奥行 C=450	奥行 C=450
SSI 65-56	SSI 65-66	3	80	高さ A=800	高さ A=1,000
				幅 B=560	幅 B=560
				奥行 C=450	奥行 C=450
SSI 65-58	SSI 65-68	5	85	高さ A=1,200	高さ A=1,500
				幅 B=560	幅 B=560
				奥行 C=450	奥行 C=450

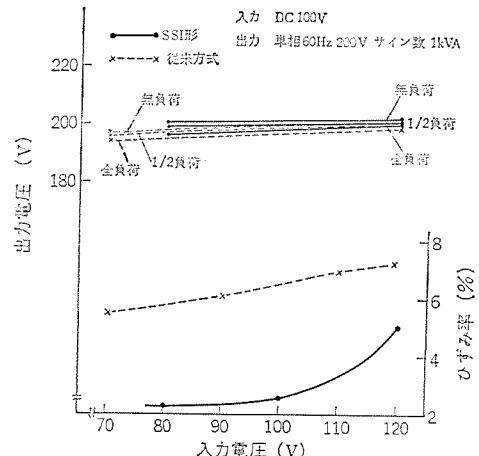


図 4.1 電圧変動率、ひずみ率 (SSI 63-62 形インバータ)  
Output voltage regulation and distortion factor  
(Model SSI 63-62).

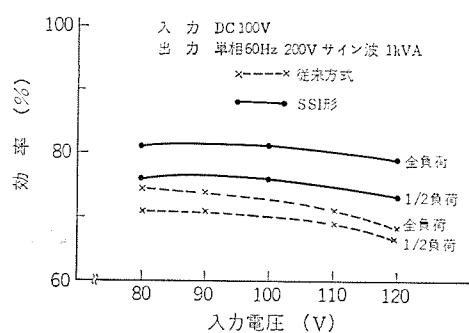


図 4.2 効率 (SSI 63-62形インバータ)  
Efficiency (Model SSI 63-62).

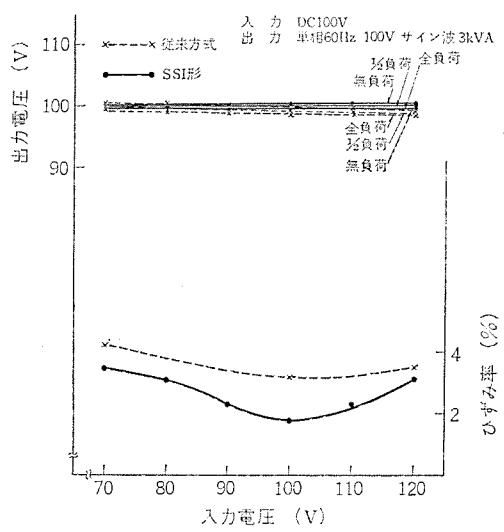


図 4.3 電圧変動率, ひずみ率 (SSI 63-56形インバータ)  
Output voltage regulation and distortion factor

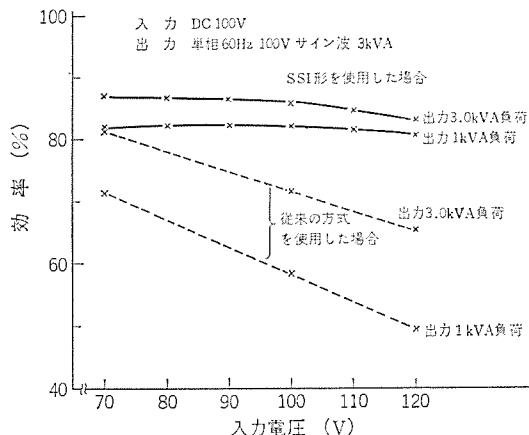


図 4.4 効率 (SSI 63-56形インバータ)  
Efficiency.

制御回路のゲインで決まるため比較の対象にならないが、ひずみ率については前述したとおり、リアクトルをトランジスタにかねさせた結果、従来より 20% 以上インピーダンスを容易に上げ得るため、きわめて小さくできている点に注目されたい。

図 4.5 の(a)～(d)は、SSI 63-56形インバータの各負荷条件でのスイッチング波形とフィルタ出力波形である。図 4.6、図 4.7 は、SSI 62-51形インバータで、製作仕様の内入力電圧を DC 24 V にした場合の効率その他を示すものである。従来、この程度のインバータではスイッチング部にトランジスタ式ロイヤ形インバータを使い、波形整形および

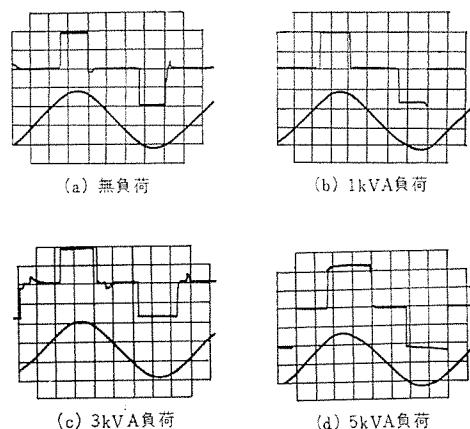


図 4.5 SSI 63-56形インバータの各負荷時出力波形  
Operating waveforms of model SSI 63-56.

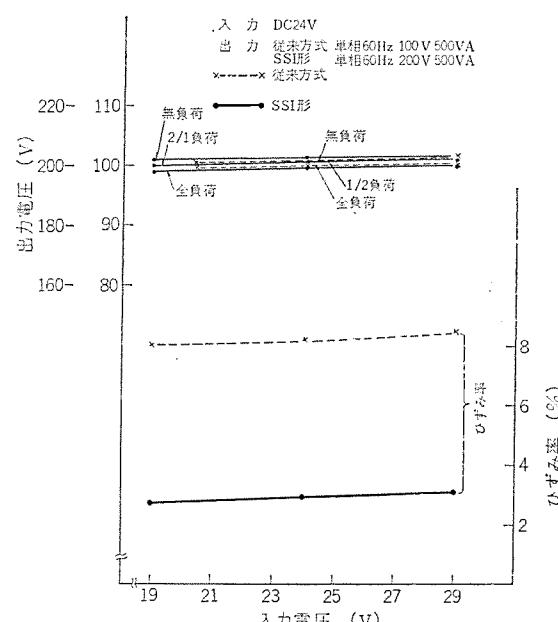


図 4.6 電圧変動率, ひずみ率 (SSI 63-61形  
インバータ, ただし入力電圧 24 V)  
Output voltage regulation and distortion factor  
(Model SSI 63-61, Input voltage DC 24 V).

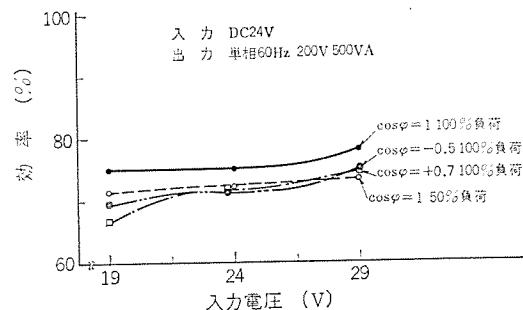
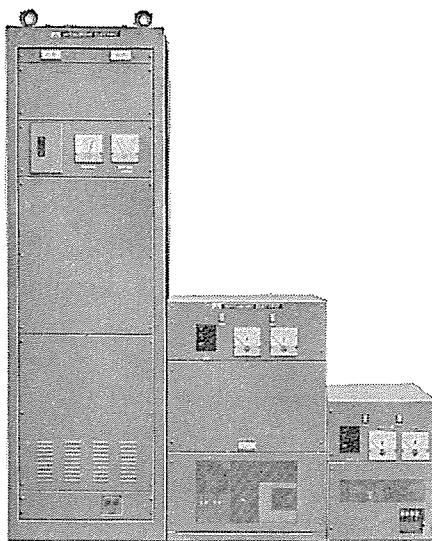


図 4.7 効率 (SSI 63-61形インバータ, ただし入力電圧 24 V)  
Efficiency (Model SSI 63-61, Input voltage DC 24 V).

出力電圧の安定化は、鉄共振形 AVR により行なっていた。そのため効率は 50% 台、ひずみ率は 10% 程度とともに悪く、負荷力率の変化に対して電圧安定化率、ひずみ率はさらに悪化し十分な特性が得られなかった。



左より:従来方式 3kVA インバータ, SSI 形 3kVA インバータ,  
SSI 形 1kVA インバータ

図 4.8 比較写真  
Pictures showing the comparison.

#### 4.2 外形寸法

表 4.1, 表 4.4 に示すように全体の寸法は従来の 1/2 以下になっているが, きょう体の標準寸法の関係で, なお相当のスペースを残している。必要により部品の占有率を従来と同程度にするならばさらに 20%程度小さくすることも可能である。表 4.5 は前記のインバータについて従来と SSI 形を比較したものであり, 図 4.8 はこれらの比較写真である。

表 4.5 従来方式と SSI 形の外形寸法比較  
Comparison of outline dimensions between the conventional system and type SSI.

	従来方式品寸法	SSI 形品寸法	小形化率
SSI 63-62 形 ( 入力 DC 100 V 出力 1φ 60 Hz 200 V 1 kVA )	高さ 幅 奥行 1,000×560×450	高さ 幅 奥行 500×480×400	38% (35% でも可)
SSI 63-56 形 ( 入力 DC 100 V 出力 1φ 60 Hz 200 V 3 kVA )	高さ 幅 奥行 1,800×560×450	高さ 幅 奥行 800×560×450	44% (33% でも可)

#### 4.3 信頼度ほか

サイリスタ そのものの Failure rate は一般に  $10^{-8} \text{fr/h}$  と報告されているが, 実際にインバータ装置とすると構成する電気部品のほかにも, ねじ, コネクタ, はんだづけ等の接続部品, 絶縁部品があり, Failure rate は大幅に低下するが, SSI 形 インバータ につき同一基準で比較すると, 主回路部では  $10 \times 10^{-9} \text{fr/h}$  が  $3 \times 10^{-6} \text{fr/h}$  (ただし環境ストレス係数は 1 としている)。全体でも約 1/2 とすることができる。

#### 5. むすび

以上述べたようにこの方式は性能がよく, 使用部品数も少ない等, 画期的なものであるが, このような方式も最近のサイリスタ素子の性能向上により実現できたものであり, さらに  $dV_F/dt$  等の改良が望まれる。また, 回路自身はきわめて簡単であるが, 設計は従来のインバータよりもきわめてむずかしく, 標準設計により性能向上と品質の安定化に努力する必要がある。

## 表面処理による導波管の低損失化

中原 昭次郎\*・堀切 賢治\*\*  
太田 基義\*\*\*・杉浦 俊夫\*\*\*

## Microwave Insertion Loss of Waveguide with Protective Coatings

Kamakura Works Syojiro NAKAHARA・Kenji HORIKIRI  
Central Research Laboratory Motoyoshi OTA・Toshio SUGIURA

Recently with increase of the corrosive gaseous atmospheric contaminants, pollution and corrosion trouble on the components of electronic apparatus become serious. Waveguides, particularly used outdoor for the transmission of weak power microwave like the case of satellite communications, must hold the property of low microwave insertion loss over a long period, and must have good corrosion resistance.

This paper discusses a new protective coating method of the waveguide, that is, a varnish treatment on the inner wall of it. This method is better than the usual gold plating in the point of reducing power loss, weatherability and cost.

## 1. まえがき

衛星通信のような微弱な電波を受信する場合には、導波管回路の損失を可能な限り小さくする必要がある。導波管が使われたした初期のころは、導波管材料、工作法、内面の傷およびめっきなどについて研究が行なわれた<sup>(1)</sup>。

最近になって、自動車の排気ガス、工場地帯で発生する種々の有害ガスなど、いわゆる公害による機器の汚染も無視できなくなってきた。したがって、屋外はもちろん屋内で使用する機器でも、この対策が必要である。とくに長期安定性が要求される場合はなおさらである。

導波管に対しても、従来から内面の腐食によるマイクロ波損失の増加をおさえるため、種々の考慮がなされている。たとえば、導波管内面の電解研磨・化学研磨・めっきなどの改良がなされているが、十分な防食効果と損失の低減化が期待できていない。めっき処理では、従来から防食効果が良いといわれている金めっきでも、めっき膜にピンホールがあり、亜硫酸ガスに対して十分な防食効果が期待できないうえに、マイクロ波損失が大きい。また、銀めっき膜は、マイクロ波損失は少ないが、硫化水素ガスにより硫化銀皮膜を形成して、損失が増加するおそれがある<sup>(2)(3)(4)</sup>。

本報告は、このような現状に対処するため、耐食性のよりすぐれているワニス塗布処理によって、従来の金めっき処理よりも耐食性に富み、しかもマイクロ波の損失増加も少なくて、めっき処理よりも廉価な方法についての研究報告である。以下、2章では、微少な導波管損失を高精度で測定できる測定装置と、この測定装置を使って、実際に使用されている銅の引き抜き導波管の損失の測定結果について、3章では、内面をめっき処理した導波管と、ワニス塗布処理した導波管の損失増加について、4章では、処理塗膜の環境試験の結果についてのべる。

## 2. 導波管の損失測定装置

## 2.1 導波管の損失

一般に使用されている方形導波管  $TE_{10}$  モードのマイクロ波損失は、次式で与えられる。

$$\alpha = \frac{4K}{a} \left[ \frac{\sqrt{f}}{\sqrt{1 - \left( \frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2}} \right] \left[ \frac{a}{2b} + \left( \frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2 \right] \quad (\text{dB/m}) \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

ここで

$$K = 4.343 \sqrt{\frac{\mu_2 \epsilon_1 \pi}{g \mu_1}}$$

$$\epsilon_1 = 8.855 \times 10^{-12} \quad (\text{F/m})$$

$$\mu_1 = 1.257 \times 10^{-6} \quad (\text{H/m})$$

$$\mu_2 = \text{金属の透磁率} \quad (\text{H/m})$$

$$g = \text{金属の導電率} \quad (\text{S/m})$$

$$a = \text{導波管の長辺}$$

$$b = \text{導波管の短辺}$$

$$f = \text{周波数}$$

$$\lambda = \text{自由空間波長}$$

$$\lambda_c = \text{しゃ断波長} \quad (= 2a)$$

導波管の損失は、寸法・周波数がきまれば、導波管材質の導電率  $g$  に依存している。表 2.1 に、導波管材料として用いられる各種の金属の導電率と導波管損失についてまとめた。導波管損失は、WRJ-4 ( $a=58.1$ ,  $b=29.1$ ) の導波管を使った、周波数 4.0GHz の値である。この表からわかるように、銅の導波管は理論上 0.024dB/m の損失であり、通常の測定器でこの程度の損失の測定をすることは非常に困難である。

## 2.2 導波管の損失測定装置

導波管の損失は、表 2.1 からわかるように、非常に小さい。し

表 2.1 各種金属の導電率と導波管損失  
Attenuation comparison of various metals used in  
WRJ-4 waveguide.

金属 項目	Cu	Ag	Coin*** Silver (90-10)	Au	Al	黄銅*** (90-10)	黄銅*** (66-34)
導電率 ( $\text{S/m}) \times 10^7$	5.80	6.14	4.77	4.10	3.53	2.57	1.43
損失* (dB/m) $\times 10^{-2}$	2.41	2.35	2.54	2.87	3.10	3.63	5.00
損失の比	1.00	0.97	1.10	1.19	1.28	1.50	2.07

\* 損失値は導波管 WRJ-4, 周波数 4.0GHz の場合

\*\* (90-10) は銀 90%, 銅 10% の割り合を示す

\*\*\* (90-10), (66-34) はおののの (銀 90%, 亜鉛 10%), (銀 66%, 亜鉛 34%) の割り合を示す

たがって導波管を内面処理した場合、その損失への影響を調べるために、微少損失を高精度で測定できる測定装置を製作した。この測定装置<sup>(5)(6)</sup>を図2.1と図2.2に示す。従来の測定装置とちがうところは、(1)温度特性のそろった一対のサーミスタ、(2)安定な電力計1, 2, (3)5けたの読み取り精度をもつDCポテンショメータを使用している点である。

測定原理は、被測定導波管をA点にそう入する前に、Null電圧計の針がゼロを指示するように、ポテンショメータRをセットする。そのときのR値を $R_1$ とする。つぎに、A点に被測定導波管をそう入する。このとき電力計2では、導波管の損失分だけ入力電力が少なくなるため、Null電圧計の針はプラス側に振れるから、精密ポテンショメータRをまわしてNull電圧計の指示をゼロにする。そのときのR値を $R_2$ とする。電圧計の出力電圧は、サーミスタに入射するマイクロ波電力の $1/2$ 乗に比例するように設計されているので、この導波管の損失 $\alpha$ は次式で与えられる。

$$\alpha = 20 \log \frac{R_2}{R_1} (\text{dB}) \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

この測定装置の性能はつぎのとおりである。

測定周波数 3.95~4.05 GHz

測定範囲 0.0004~1 dB

分解能 0.0004 dB

ノイズレベル 0.0003 dB 以下

ドリフト 0.001 dB/h

本測定装置の分解能は非常によいが、実際に導波管の損失を測定するとフランジ部の損失による測定誤差が生じる。その原因としては、フランジ面にわずかなおうとつがあれば、そこから電波が漏れたり、接触抵抗の増大で熱損失が増加することが考えられる。これらの影響を少なくするために、図2.3に示すようなコンタクトシムを入れてフランジ部の損失と、それによる測定誤差を少なくした<sup>(7)</sup>。フランジ部の損失を調べるために使用したフランジは、図2.4に示す。(1)局内用バットフランジBRJ-4、(2)両フランジともガスケット用のみぞつき屋外用フランジPRJ-4、(3)片方がバットフランジで、もう一方がガスケット用のみぞつきフランジの組合せPRJ-4(P)、(4)チョークフランジの4種類である。結果は表2.2に示すように、コンタクトシムを入れて測定した各種フランジ付導波管の損失は、 $1.07 \sim 1.09 \times 10^{-2}$ dB(導波管WRJ-4、長さ400mm)とほぼ一定値になり、しかも測定値のばらつきも小さくなった。コンタクトシムを使わない場合では、フランジ部の損失増加量は、フランジ面の仕上がり状態によってばらつきがあり、最大 $0.3 \times 10^{-2}$ dBもあった。結論として、フランジ部のみの損失は定量的に決められないが、コンタクトシムの使用でフランジ部の損失が大幅に小さくでき、導波管の損失に近いものが測定できたと考えられる。

測定装置の立体回路系から生じる測定誤差<sup>(8)</sup>のおもなものは、

表 2.2 各種 フランジ 付導波管の損失  
Waveguide loss with various flanges.

	コントラクトシム をいれない状態	コントラクトシム をいれた状態	損失の増加分
フランジBRJ-4付導波管	$1.24 \times 10^{-2}$ dB	$1.07 \times 10^{-2}$ dB	$0.17 \times 10^{-2}$ dB
フランジPRJ-4付導波管	$1.10 \times 10^{-2}$	$1.09 \times 10^{-2}$	$0.01 \times 10^{-2}$
フランジPRJ-4(P)付導波管	$1.33 \times 10^{-2}$	$1.08 \times 10^{-2}$	$0.25 \times 10^{-2}$
チョークフランジ付導波管		$1.11 \times 10^{-2}$	$0.04 \times 10^{-2}$

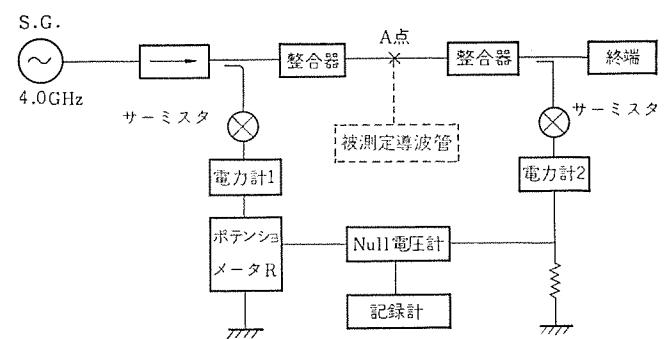
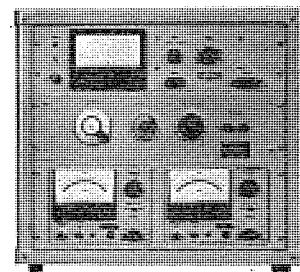
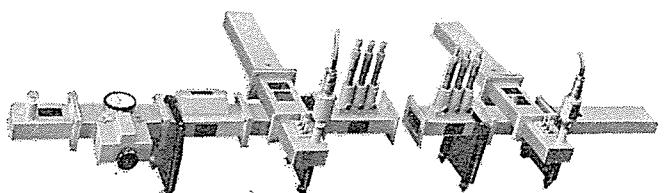


図 2.1 損失測定装置図  
Block diagram of microwave insertion loss test set.



## 図 2.2 損失測定装置 Microwave insertion loss test set.

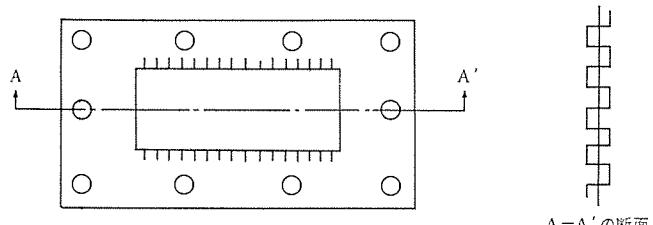


図 2.3 コンタクト シム の構造  
Structure of contact shim.

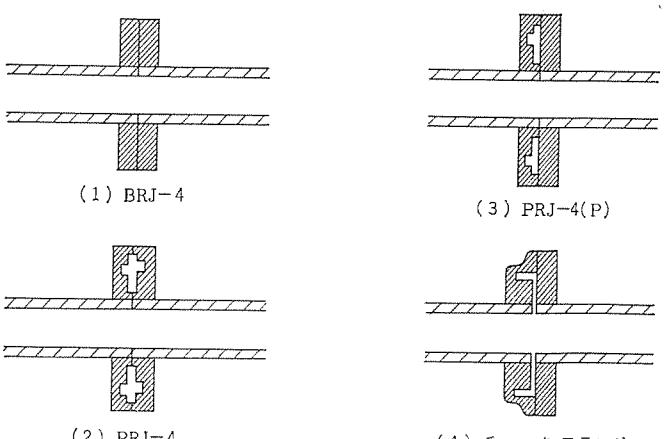


図 2.4 各種 フランジ の断面  
Cross section of various flanges.

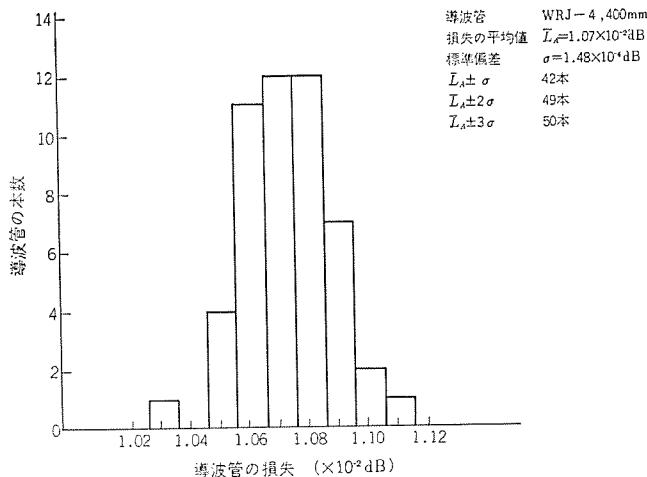


図 2.5 導波管損失のヒストグラム  
Histogram of WRJ-4 waveguide loss.

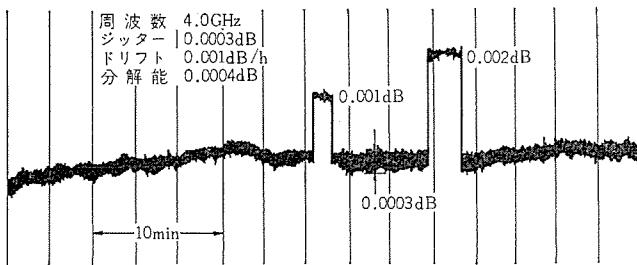


図 2.6 損失測定装置の Null 電圧計の出力  
Output of microwave insertion loss instrument.

図 2.1 の A 点に不整合が生じた場合と、方向性結合器の機械的ひずみからくる誤差である。後者は、導波管寸法が  $\Delta a(\Delta b) = \pm 0.01$  mm の変化をすることによって  $\pm 0.3 \times 10^{-2}$  dB の誤差が生じるので、導波管の肉厚を特別に厚くして、さらに機械的補強で誤差を  $10^{-4}$  dB 以下にした。前者の誤差は、結合器をもつて定在波比 1.01 以下で測定することによって、 $10^{-4}$  dB 以下の誤差におさえた。

以上の改善を行なって、銅の引抜き導波管 WRJ-4、長さ 400 mm を 50 本測定した。その結果を図 2.5 に示した。損失の平均値は  $L_A = 1.07 \times 10^{-2}$  dB で理論値 ( $0.964 \times 10^{-2}$  dB) の約 10 % 増である。標準偏差  $\sigma$  は、 $1.48 \times 10^{-4}$  dB で、 $L_A \pm \sigma$  に入るものが 42 本 (82 %),  $L_A \pm 2\sigma$  が 49 本 (98 %),  $L_A \pm 3\sigma$  が 50 本 (100 %), とほぼ正規分布を示している。この結果から、損失の測定値に  $6 \times 10^{-4}$  dB ( $-2\sigma$  ~  $+2\sigma$ ) 以上の差があれば、5 % 危険率で有意差があると判断できる。なお、この測定装置の分解能は図 2.6 に示すように  $4 \times 10^{-4}$  dB である。

### 3. 内面処理による導波管のマイクロ波損失

銅の引抜き導波管 WRJ-4 (長さ 400 mm) に、4 種のワニス塗布処理および従来の各種めっき処理を施して、2 章でのべた方法でマイクロ波損失を測定した結果を、表 3.1 に示す。

#### 3.1 めっき処理による損失の増加

銀めっき処理導波管は、未処理の導波管の損失と同程度かまたはそれ以下であるが、金めっき処理は、かなりの損失増加を生じた。各種金属の WRJ-4 導波管の 400 mm あたりの損失の理論値を、表 2.1 にもとづいて算出すると、次のようになる。

銅	$0.964 \times 10^{-2}$ dB
金	$1.148 \times 10^{-2}$ dB

表 3.1 表面処理によるマイクロ波損失  
Microwave insertion loss of waveguide with protective coatings.

表面処理		損失平均値 ( $\times 10^{-2}$ dB)	処理による <sup>*</sup> 損失増加率 (%)	測定本数
未処理	銅引き抜き管	1.07		50
	黄銅引き抜き管 (90 Cu-10 Zn)	1.55		2
めっき処理	銀めっき	1.05	-2.1	4
	金めっき	1.24	17.9	8
	銀+金めっき	1.13	5.0	5
ワニス塗布処理	ワニス A	1.12	4.4	6
	ワニス B	1.10	3.6	11
	ワニス C	1.09	1.4	4
	ワニス D	1.12	5.6	10

\* 処理導波管々の、処理前の損失値に対する処理による損失増加率の平均値

銀  $0.940 \times 10^{-2}$  dB

黄銅 (90 Cu-10 Zn)  $1.452 \times 10^{-2}$  dB

ところが、銅導波管 (未処理) の損失の実測値は  $1.07 \times 10^{-2}$  dB で理論値よりも約 10 % ( $0.1 \times 10^{-2}$  dB) 損失が大きくなっている。この損失増分を、主として導波管の加工精度や内面の表面荒さによって生じたもので、めっきなどの処理では低減されないものと仮定し、さらに、各めっき処理の膜厚が使用電波の skin depth よりも十分に厚いと仮定すると、各めっき処理した導波管の損失は、上記の理論値に  $0.1 \times 10^{-2}$  dB を加えた値になると予想される。すなわち、金めっき処理で  $1.25 \times 10^{-2}$  dB、銀めっき処理で  $1.04 \times 10^{-2}$  dB、また黄銅導波管では  $1.55 \times 10^{-2}$  dB となり、これらの値は表 3.1 の実測値とよく一致している。なお、銀めっき処理の上に金を薄くめっきした (銀+金) めっき処理では、金が薄いために金と銀の両方の効果が損失に現われているものと考えられる。

#### 3.2 ワニス塗布処理による損失の増加

ワニスは、誘電率・誘電体損が小さく、かつ長期間の使用に耐えるために、特に耐候性のよい塗料を 4 種選んで試験した。

導波管の内面の塗布処理は、ワニス塗膜の密着性と耐食性をよくするために、銅下地の整面処理を行ない、つぎに下塗り樹脂塗料を塗布してから、ワニスを塗布した。

4 種のワニスのうち、ワニス A・ワニス B 処理は少し損失が大きいが、いずれも、未処理の銅導波管の損失に比較して 6 % 以内の増加で、金めっき処理に比較すると約 10 % の損失低減となった。

### 4. 環境試験

導波管は長期間にわたって安定な電気特性を維持する必要がある。したがって、内面処理被膜は、長期間の防食効果を保持するとともに、ワニス塗膜の場合は、塗膜自体が変質してマイクロ波損失を増加することがあってはならない。そこで、ワニス塗布処理した導波管、銅片 ( $0.5 \times 50 \times 100$  mm) およびガラス片 ( $0.5 \times 10 \times 80$  mm) について、各種の熱試験を行なった。また、未処理、金めっき処理およびワニス塗布処理の導波管、銅片およびガラス片について、耐候性試験を行なった。これらの結果を、表 4.1 と表 4.3 に示し、詳細は以下にのべる。

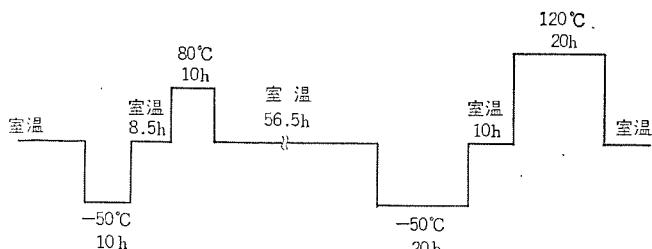


図 4.1 耐熱性試験条件  
Heating cycle test condition.

#### 4.1 热試験

##### 4.1.1 耐熱性試験

導波管を処理したのと同様のワニス塗布処理をした銅片を、120°Cで50時間、または130°C・150°C・180°C・200°Cでおののの4時間、恒温器内で加熱し、表面の観察を行なった。

120°Cでは、ワニスCの塗膜に発泡(クレ)が生じたが、他の試料はいずれも変化がみとめられなかった。それ以上の温度では、ワニスAが130°C、ワニスBおよびDが180°Cの加熱で、銅表面に黄青色の酸化被膜が生成した。

しかし、銅面上では塗膜のわずかの変色は識別しにくいので、さらにガラス片にワニスだけを塗布し、120°Cで240時間加熱した。結果は、ワニスCが銅片試料の場合と同様に、発泡を生じた。またワニスAの塗膜はごくうすく黄色がついた。

つぎに、ワニス塗布処理した導波管を図4.1に示す温度試験を行ない、塗膜の観察とマイクロ波損失の測定を行なった。いずれも塗膜に異常が認められず、損失の増加もなかった。

以上の結果から、ワニスA、B、およびDの塗膜は、少なくとも120°C以下で十分に耐熱性があると判断できる。なおワニスCは、塗布作業性が悪いために塗布むらを生じやすく、また硬化処理条件が不適当な場合は、昇温時に発泡が生じる欠点があった。

##### 4.1.2 热衝撃試験

MIL規格のThermal Shock Test (MIL-STD-202C method 107B)<sup>(9)</sup>に準じて、ワニス塗布した銅片を表4.2条件(a)、導波管を表4.2条件(b)の温度プログラムで、10サイクルの熱衝撃試験を行なった。試験結果(表4.1)は、いずれも塗膜にわれ、ふくれなどの異常がなく、また導波管試料の試験後の損失増加もなかった。

#### 4.2 耐候性試験

##### 4.2.1 亜硫酸ガス腐食試験

一般に導波管の内面は、その導波管系が屋外に設置された場合でも、直接、雨水や外気にさらされることは少ない。しかし、最近問題視されている大気汚染物、特に亜硫酸ガスの金属腐食への影響はますますひどくなっている。長期間使用される導波管においても、その影響が皆無とはいえないくなっている。従来、導波管内面の防食処理に主として用いられている金めっき膜は、膜厚にもよるが、多少のピンホールが存在し、このために長期間の使用中に、万一、亜硫酸ガスを多量に吸収した水分などが導波管内部に入った場合、十分な防食効果があるかどうか、疑問がもたれる<sup>(10)</sup>。

ワニス塗布処理と金めっき処理の亜硫酸ガス耐食性を比較するために、図4.2に示した装置で、亜硫酸ガス腐食試験を行なった。試験条件は、混合容器内で15~30PPMに希釈した亜硫酸ガスを、処理を施した銅片および導波管を設置した腐食試験槽(槽)内(40°C、90%RHのふんい気)に、連続して、1時間送り込んだ。

表 4.1 热試験結果  
Thermal test results of varnish films

試験項目	耐熱性試験			熱衝撃試験	
	試片下地 銅片	ガラス片	銅導波管	銅片	銅導波管
試験条件 処理	120°C 50h または 130°C, 150°C, 180°C 200°C, 各4h	120°C 240h	-50°C 10h → 80°C 10h → -50°C 20h → 120°C 20h	-55°C 0.5h → 120°C 0.5h 10サイクル	-55°C 1h → 120°C 1h 10サイクル
ワニスA	130°C以上で銅面黄青変色	少し黄変 (0%)	異常なし (0%)	変化なし	異常なし (0%)
ワニスB	180°C以上で銅面黄青変色	変化なし	異常なし (0%)	変化なし	異常なし (0%)
ワニスC	120°Cで塗膜に発泡	いちじるしい発泡	異常なし (0%)	—	異常なし (0%)
ワニスD	180°C以上で銅面黄青変色	変化なし	異常なし (0%)	変化なし	異常なし (0%)

( ) 内の値は試験による損失の増加率

表 4.2 热衝撃試験条件  
Thermal shock test conditions.

ステップ	条件(a)		条件(b)	
	温度(°C)	時間	温度(°C)	時間
1	-55	0.5h	-55	1h
2	室温	10s以下	室温	0.1h
3	120	0.5h	120	1h
4	室温	10s以下	室温	0.1h
サイクル数	10サイクル		10サイクル	

表 4.3 耐候性試験結果  
Results of various environmental tests.

試験項目	亜硫酸ガス腐食試験		屋外暴露試験		促進耐光試験	
	試片下地 銅片	銅導波管	銅片	銅導波管	ガラス片	
試験条件 処理	15~30PPM SO <sub>2</sub> , 40°C 90%RH, 1h → 常温, 23h 6サイクル		25か月	4か月	紫外線アーチ, フェードメータ 300h	
未処理	いちじるしい 緑青色さび	いちじるしい 緑青色さび (11%)	—	茶褐色 (6%)	—	
金めっき	—	緑青色さび 発生し金色 が消える (45%)	灰色の斑点 が少し生じる	局的に斑点 全体に少し 緑味がかかる		
ワニスA	変化なし	ローナ部に 少し緑色 (0%)	塗膜の厚い 所に少しわ れ	異常なし	変色なし, 少しあれを 生ず	
ワニスB	変化なし	ローナ部に 少し緑色 (0~2.5%)	塗膜の厚い 所にわれ, 密着性が悪い	異常なし	変色なし, われが生ず	
ワニスC	—	全面にうす く緑色 (4%)	—	やや全体に 緑味がかかる	—	
ワニスD	変化なし	異常なし (0%)	変化なし	変化なし	変化なし	

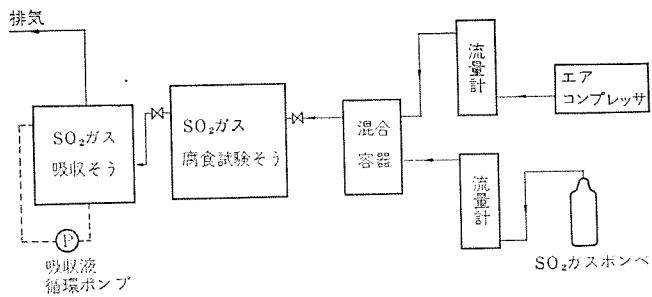


図 4.2 亜硫酸ガス腐食試験装置  
Block diagram of  $\text{SO}_2$  gas corrosion test apparatus.

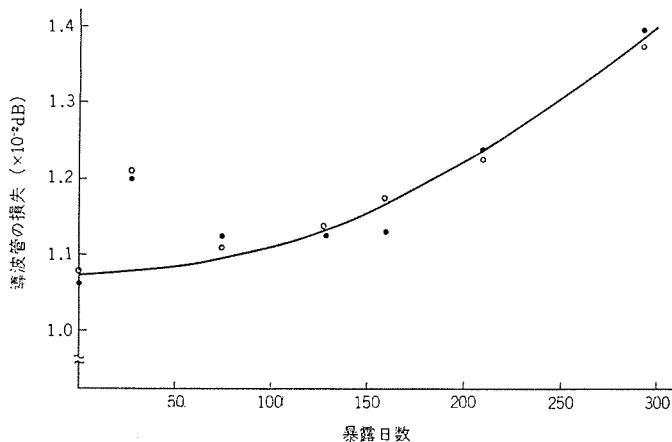


図 4.3 未処理導波管の屋外暴露試験による損失変化  
Effect of outdoor exposure on non-coated waveguide.

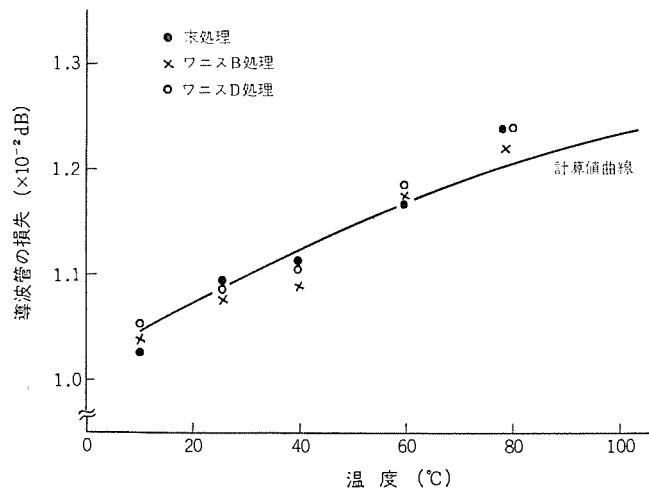


図 4.4 損失の温度特性  
Temperature dependence of waveguide loss.

つぎに腐食そう内のガスを追いだし、常温の大気ふんい氣にして、23時間放置した。このサイクルを6回行なった。なお、ガス送入時に、加湿のため試料表面に生じた水滴（多量の亜硫酸ガスを吸収している）は、大気中放置の期間でもそのまま付着した状態にしておいた。

試験の結果（表4.3）は、未処理および金めっき処理試料に、いちじるしい緑青色さびが発生した。特に金めっき処理試料では金色がまったく消えていた。一方、ワニス処理は、銅片ではまったく変化がみられず、また、導波管ではコナ部分にやや緑青色がみられただけであった。試験後のマイクロ波損失測定でも、未処理および金めっき処理導波管は損失が大きく増加したが、ワニス処理導波管はごくわずか増加しただけであった。なお、金めっき処理試料の損失増加

が、未処理のそれより大きかった。これは、未処理試料の腐食生成物が銅酸化物だけの、比較的均一な厚さの被膜であったのに対して、金めっき処理試料のそれは、銅酸化物と金の混合物で、おうとつの大きい被膜であったことによるものと思われる。

#### 4.2.2 屋外暴露試験

試験法は、地上約15mの建物屋上で、導波管試料は管軸を南北にして水平に、また銅片試料は南面にして45度傾斜させて、いずれも、雨風・じんあいの防御をせずに屋外に設置した。

未処理銅導波管について、この試験期間中のマイクロ波損失測定結果を図4.3に示す。図中、約1か月後の損失が異常に大きい。この原因は明確でないが、たぶん、導波管内面に多量に付着したじんあいのためと考えている。それ以後は、じんあいが雨水に洗い流されるとともに、損失の異常な増大はなかった。暴露期間の経過とともに、銅面は濃茶褐色から細密な緑青色さびへと変わり、緑色を帯びるにつれて損失は加速的に増大した。

一方、金めっき処理とワニス塗布処理した導波管は、1か月後にじんあいを洗い流して損失を測定した結果、損失の増加が認められず、さらに4か月後の観察では、金めっき処理導波管の金めっき膜が少し緑色を帯びた以外は、異常はなかった。

さらに、銅片試料（ワニスCは除く）で2か年以上の屋外暴露試験を続けているが、金めっき膜に灰色斑点が少し生じたことと、ワニスAおよびBの試片端部の塗膜の厚い所にフレが生じている以外、腐食は生じていない。

#### 4.2.3 促進耐光試験

ガラス片にワニスのみを塗布し、紫外線カーボンアーチフェードメータで300時間試験した。

結果は、ワニスAおよびBの塗膜にわれが生じたが、ラッカDは異常がなかった。またいずれも塗膜の変色は認められなかった。

#### 4.2.4 ワニス塗膜の密着性試験

ワニス塗膜の密着性については、4.2.2項の屋外暴露試験のために作成した銅試片で、屋外暴露試験前と、約1か年の暴露試験後に、ごばん目法の塗膜密着性試験（塗膜面にナイフで1mm角のごばん目きずを $10 \times 10$ 個つけ、この上に粘着テープをはりつけてから急速に引きはがして、塗膜のはがれたごばん目の数をかぞえる）を行なった。ワニスAおよびDは暴露試験前後とも塗膜のはく離はなかった。ワニスBは、暴露試験前では、塗膜のはく離はなかったが、ごばん目きずをつけるときに、塗膜がもろいたためにきずの線幅が太くなかった。そして、暴露試験後はごばん目全部がはく離した。

#### 4.3 温度特性

ワニス塗布処理導波管の損失におよぶ環境温度の影響は、高温下でワニス塗膜の劣化により銅面に腐食被膜が生じる場合のほかに、(1)銅自体の温度の上昇にともなう比抵抗の増加による損失増加と、(2)ワニス塗膜自体が高温下で誘電性質が変化し、損失が増加する場合、とが考えられる。

図4.4は、未処理とワニス塗布処理した導波管を10~80°Cの温度下で、損失を測定した結果である。図中の実線は、銅の体積抵抗率の平均温度係数を $4.3 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2/\text{K}$  ( $0 \sim 100^\circ\text{C}$ )とし、式(2.1)からWRJ-4導波管(長さ400mm)について、20°Cのときの損失を $1.07 \times 10^{-2}$ dBとして、計算したものである。測定結果からは、未処理とワニス塗布処理導波管の損失に差は認められず、計算曲線にも、ほぼ一致しているので、ワニス塗膜自体の温度による損失への影響は、少なくとも10~80°Cの範囲では、無視できる。

## 5. む す び

以上の実験結果から、導波管内面処理に関して次のように結論した。

- (1) ワニス塗布処理によって、従来の金めっき処理よりも約10%のマイクロ波損失の低減ができる。
- (2) めっき処理のうちでは、金めっきは防食効果があるが、ピンホールの存在のために、過酷な汚染大気環境下では、防食効果が十分といえない。ワニス塗膜は、防食効果がより優秀である。
- (3) 試験した4種のワニスのうちでは、ワニスDが耐熱性、耐候性および密着性がいずれも良好である。
- (4) 高価な金を使う金めっき処理よりも、ワニス塗布処理は処理コストが廉価である。

(昭和45-3-12受付)

## 参 考 文 献

- (1) J. Alison & F. A. Benson : Proc. I. E. E., 102, Part B,

- No. 2, 251 (1955)
- (2) S. J. Klima, et al. : Electrochem. Technology, 3, No. 7-8, 198 (1965)
- (3) M. Antler : IEEE Trans., PMP-2, No. 3, 59 (1966)
- (4) H. C. von Baeyer : Microwave Journal, Apr., 47 (1960)
- (5) C. J. Stelzried, et al. : IEEE Trans., IM-15, 3, 98 (1966)
- (6) 信岡、堀切：微少損失測定（導波管），昭43電気四学会連合大会 1,299
- (7) 中原、堀切：微少損失測定（導波管その3），昭44電気四学会連合大会 1,489
- (8) 中原、堀切：微少損失測定（導波管その2），昭43電通学会全国大会 453
- (9) MIL-STD 202C, Test Methods for Electronic & Electrical Components Parts
- (10) W. F. Smith : Microwave, Aug., 34 (1965)

## 周波数安定化ガスレーザ装置

谷口一郎・\*富島一成・永井治彦\*

## Frequency Stabilized Gas Laser

Central Research Laboratory

Ichiro TANIGUCHI・Kazunaru TOMISHIMA・Haruhiko NAGAI

Frequency stabilized He-Ne gas laser with a single frequency has been developed for application to interferometric measurement of length in accurate machine tools. To stabilize the laser frequency is adopted a new method by which change in resonator length due to change in temperature is exceedingly decreased. Frequency stability of about  $3 \times 10^{-7}/4$  hrs is obtained in 3.5 hrs after turning on without any control system. The laser will be advantageous for common types of length measuring machines from the viewpoint of stability, size and cost. This paper describes in detail the method to stabilize the frequency, constructions of resonators and experimental results.

Also given are comparisons between results of this method and those of conventional ones with temperature or servo control.

## 1. まえがき

最近工作機械の大形化・精密化・自動化に伴い、長尺の測定が高い精度で行なえる精密測長機が要求されている。レーザを光源に用いるレーザ干渉測長機は、従来の光学的・電磁的・磁気的・精密測長機に比べて、測定精度および確度が高いこと、温度変化で伸縮するスケールが不要であること、測定長が長いこと等の特長を持っており、このため今後その需要は急激に増してゆくものと考えられる。このようなはん用干渉測長機の光源としては、発振周波数は単一でなければならないが周波数の安定度は  $10^{-6}/\text{日}$  以上で十分である。

ガスレーザが出現<sup>(1)</sup>して以来、長さの標準・精密測長・微小変位測定等の目的でレーザ発振周波数の安定化に関する研究と開発が各所でおこなわれ、すでに各種の方式が試みられている。現在得られている周波数安定度の最高値は、実験室段階で  $1 \times 10^{-10}/8$  時間<sup>(2)</sup>であり、市販品には  $10^{-8}/\text{日}$  の周波数安定度を保証する製品が現われている。このような製品はむしろ長さの標準器といえるもので、周波数安定方式がかなり複雑なため高価である。工業におけるはん用精密測長機としては前述の条件、すなわち単一周波数で周波数安定度  $10^{-6}/\text{日}$  をみたすもののうちで安価なものが求められ、これをみたす製品はわれわれの知るかぎりではまだ存在しない。

当所では発振周波数を安定化するために、温度変化によるレーザ共振器長の変化を補償する新しい方式を採用した。試作装置により得られた周波数安定度は、スイッチオン 3.5 時間後で約  $3 \times 10^{-7}/4$  時間であった。本方式による周波数安定化レーザは小形・簡便・安価な装置である。本文では、周波数安定化の方式・レーザ共振器の構造・実験結果について詳述し、並行して実施した温度制御やサーボ制御を用いた従来の安定化方式による実験結果との比較を述べた。

## 2. レーザ発振周波数

レーザ作用は共振器の中にある活性媒質の 2 準位間の分布反転によって達成される。遷移周波数を  $\nu_m$ 、そのスペクトル線幅を  $\Delta\nu_m$ 、共振器の共振周波数を  $\nu_c$ 、その幅を  $\Delta\nu_c$  とすると、レーザの発振周波数  $\nu$  は一次近似の計算で

$$\nu = \frac{\nu_m \nu_c (\Delta\nu_m + \Delta\nu_c)}{\nu_m \Delta\nu_m + \nu_c \Delta\nu_c} \quad (2.1)$$

となる<sup>(3)</sup>。近赤外や可視光のガスレーザでは、ドップラー効果によるスペクトル線の広がりが共振器のスペクトル幅より 2 ~ 3 けた大きい。したがって式 (2.1) において  $\Delta\nu_m \gg \Delta\nu_c$  とすると、

$$\nu \approx \nu_c + (\nu_m - \nu_c) \frac{\Delta\nu_c}{\Delta\nu_m} \quad (2.2)$$

となる。式 (2.2) よりレーザの発振周波数は、ほぼ共振器の共振周波数  $\nu_c$  によって決まることがわかる。

## 2.1 周波数安定度の定義

観察の時間を  $t$ 、発振周波数の変動を  $\Delta\nu(t)$  とし、周波数安定度  $S$  を式 (2.3) で定義する。

$$S = \frac{\Delta\nu(t)}{\nu_{av}} \quad (2.3)$$

$S$  は観察の時間  $t$  によって値が変わる。一般に  $t$  が短い (1 秒以内のきわめて短い時間) か長い (数時間あるいは 1 日) かによって短時間安定度と長時間安定度と使い分けされているが、本報告で問題にすることは長時間安定度である。

## 2.2 周波数変動の原因

前述のようにレーザの発振周波数は、ほぼ共振器の共振周波数  $\nu_c$  によって決まるので、周波数の安定なレーザを得るためにには共振周波数の安定な共振器を作らねばならない。長さ  $L$  の共振器の  $N$  次の縦方向モードの共振周波数  $\nu_c$  は

$$\nu_c = \frac{C}{2nL} \quad (2.4)$$

で与えられる。

ここに  $c$  : 光速

$n$  : 共振器内の光路の平均の屈折率

式 (2.4) より周波数安定度  $S$  は

$$S = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta n}{n} \quad (2.5)$$

で与えられる。したがって、発振周波数の変動は共振器長の変動  $\Delta L$  と屈折率の変動  $\Delta n$  に依存する。これらの変動を引き起こす種々の原因について以下に簡単に述べる。

## 2.2.1 温度の変化

ガスレーザは共振器内にレーザ管を有する発熱体であるので、その熱によるスペーサの膨張が周波数安定度を低下させる最も大きな原因で

ある。 $\alpha$  をスペーサの熱膨張係数,  $\Delta T$  を温度変化とすると,

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T \quad \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

で表わされる。スペーサに熱膨張係数の小さい材料、たとえば石英 ( $\alpha = 5 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ) を用い、温度制御をおこなって  $\Delta T = 0.1^\circ\text{C}$  とした場合  $\Delta L/L = 5 \times 10^{-8}$  となる。周波数変動に与える温度変化の影響は、外部鏡形ガスレーザでも内部鏡形ガスレーザでも同じであるが、以下に記述する 2.2.2 項、2.2.3 項は外部鏡形ガスレーザに特有な周波数変動の原因である。

### 2.2.2 屈折率の変化

外部鏡形ガスレーザではブリュースター窓と反射鏡との間の空気の屈折率の変化が周波数変動の原因となる。この屈折率の変化は周囲の温度、大気圧および水蒸気圧の変化に帰因し、これにより共振器の光学的長さ  $nL$  が変動する。これらの効果による屈折率の変化の割り合は、

$$\Delta n/n \approx (-2.3 \Delta T + 0.9 \Delta P - 0.14 \Delta H) \times 10^{-7} \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

で表わされる<sup>(4)</sup>。ここに、

$\Delta P$  : 大気圧の変化分 (torr)

$\Delta H$  : 水蒸気圧の変化分 (torr)

式 (2.7) は  $T = 20^\circ\text{C}$ , 大気圧  $P = 760$  torr, 水蒸気圧  $H = 8.5$  torr, 波長  $\lambda = 6,328 \text{ \AA}$ , 共振器長に対するブリュースター窓と反射鏡の間の長さの割り合  $q = 0.25$  の条件のもとにおける式である。大気圧の変動が 2 torr あればそれだけで周波数安定度は  $10^{-7}$  台に下がる。温度とともに重要なパラメータである。

レーザ媒質の反転分布や電子密度の変動が屈折率したがって周波数の変動になって現われるが、安定な放電状態では通常無視できる。光路中の空気の対流や音波による屈折率の変化で起こる周波数変動を試算するのは困難であるが、やはり通常の実験室では無視できる程度のものである。

### 2.2.3 窓板光路長の変化

外部鏡形ガスレーザでは、レーザ管の振動や曲がりによるブリュースター窓の位置の変化が光路長の変化になり周波数変動の原因となる。ブリュースター窓の厚さの光路長の計算をおこなうと、たとえばブリュースター窓の微少角変化  $\pm 5 \times 10^{-6} \text{ rad.}$  ( $\pm 1'$ ) に対して、 $\Delta L/L \approx 1 \times 10^{-7}$  となる。この結果から、振動や曲がりによるブリュースター窓の位置の変化が、周波数安定度に大きな影響をおよぼすことがわかる。

### 2.3 単一周波数の発生

レーザの発振モード（縦方向モード）の数は共振器の長さにより決定される。おののの縦方向モード間の周波数間隔は式 (2.4) より  $c/2nL$  で与えられる。無数に存在する共振器の縦方向モードのうち、活性媒質のスペクトル線に共鳴し、しかも共振器の損失線より高い利得範囲（図 2.1 の発振領域）にある縦方向モードのみが発振する。放電中の気体原子のスペクトルの幅はドップラー効果によりかなり広がっており、たとえば Ne の 6328-A 線の半値幅は約 1,500 MHz である。かりに  $L = 1 \text{ m}$  のガスレーザであれば、縦方向モードの間隔が  $c/2L = 150 \text{ MHz}$  ( $n = 1$  として) であるから少なくとも数本の縦方向モードの発振が可能になる。このような条件のもとで単一縦方向モードを発振させるには次の二通りの方法が考えられる。

(1) 強制的に共振器の損失を増加して（図 2.1 の点線の位置まで損失線を上げる）、発振領域にはいる縦方向モードの数を 1 本にする。

(2) 共振器  $L$  を小さくして縦方向モードの周波数間隔をひろげ、

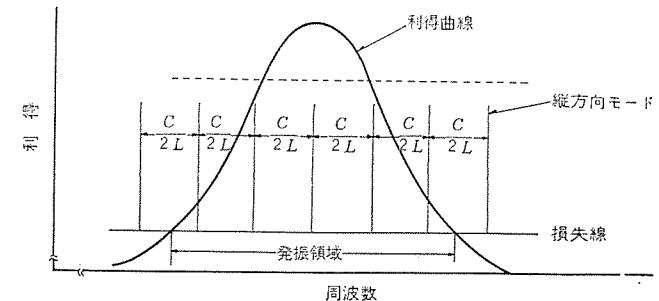


図 2.1 利得曲線と縦方向モードとの関係  
Relation between gain curve and longitudinal modes.

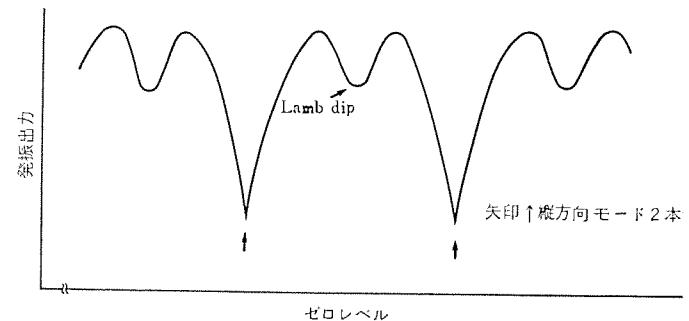


図 2.2 単一モードガスレーザの発振出力 ( $L = 15 \sim 20 \text{ mm}$ )  
(横軸: 共振器長)  
Output power of single mode gas laser.

発振領域にはいる縦方向モードの数を 1 本にする。

(1) の方法は損失の調整がむずかしいこと、不必要に装置が大形になること、入力とレーザ出力との変換効率が低いこと等の点で得策でない。(2) の方法は共振器長を小さくするとともにレーザ管も小形になり、利得が小さくなるため発振がむずかしくなるが、 $L = 15 \sim 20 \text{ cm}$  であれば 1 本あるいは 2 本の縦方向モードで発振が可能である。図 2.2 はこのときの発振出力の変動を示している。

横軸は共振器長を示す。これは共振器内の温度を時間に比例して上昇させることにより変化させたものである。2 本の縦方向モードが発振するときもあるが、大部分の周波数領域では 1 本の縦方向モードで発振している。1 本の縦方向モードで発振する周波数領域において共振器の共振周波数がスペクトル線の中心附近に一致すると、飽和効果により発振出力の減少を招くいわゆる “Lamb dip” が現われる。後に述べるように、この Lamb dip を利用すると自動的な周波数の安定化が可能になる。

横方向モードについては、レーザ管の直径 1 mm のとき 2 枚の反射鏡の曲率半径をそれぞれ無限大（平面、反射率公称 100%）と 450 mm（反射率公称 99.5%）にすることにより、 $\text{TEM}_{00}$  モードを得ることができる。

### 3. 周波数安定化の方式、装置

これまで知られている周波数安定化の方法を大別すると、温度制御方式とサーボ制御方式とに分けられる。温度制御方式では、熱膨張係数  $\alpha$  の小さい材料、たとえばインバー ( $\alpha = 1 \times 10^{-6}$ )、石英 ( $\alpha = 5 \times 10^{-7}$ ) などで共振器を構成し、温度制御を行なう。また、レーザを恒温そう ( $0.01^\circ\text{C}$  ぐらいまで) 内に入れるか、あるいは恒温油そうにつけて用いる方法もある。

サーボ制御方式では、出力曲線のピーク特性を利用した方法<sup>(5)</sup>が最初の方法である。レーザの出力曲線は励起電力を下げていくと、図 2.2 に示す Lamb dip が次第に浅くなる。さらに励起電力を下げて

いくと dip は消えてしまい、出力曲線はピーカーを有するようになる。この方法は共振器の共振周波数を自動制御して、それを出力曲線のピーカー（スペクトル線の中心）に一致させる方法である。サーボ制御的具体的な方法については後に詳述するので、ここでは説明を省略する。

また、励起電力を下げていって出力曲線の Lamb dip がちょうど消えたところ、すなわち頂上の平らな出力曲線の特性を利用した安定化の方法も試みられ<sup>(6)</sup>、かなり高い周波数安定度が得られている。この二つの方法は出力が小さい（数  $\mu\text{W}$ ）という欠点を有するが、同じようにサーボ制御で Lamb dip の谷の中心に周波数を合わせると出力も上がり（約  $100 \mu\text{W}$ ），より実用的な装置となりうる。

この Lamb dip を利用して自動的に周波数安定化した装置としては Spectra Physics 社 119 形<sup>(7)</sup>が最もよく知られている。

われわれは後に述べるように、何ら特別の制御を行なわずに周波数を安定化する補償形のレーザ装置を試作するとともに、比較するためさらに高い周波数安定度をもつ Lamb dip を利用した周波数安定化レーザ装置も試作した。まず後者の原理および方法を示す。図 3.1 に示すように、光路にそう（挿）入した電わい（歪）素子（PZT）で共振器長に変調信号（数 kHz）を与えると、それに対応して変調信号と同じ周波数で振幅 A の変動が出力曲線に現われる。共振器の共振周波数がスペクトル線の中心（Lamb dip の中心）に一致すれば振幅 A はほとんどゼロとなり、右側（図 3.1）にすれば左側の場合とは位相が反転した振幅 A の交流信号が生ずる。したがってこの交流信号を適当に増幅し、同期整流して直流信号に変え、PZT に加えることにより共振周波数をスペクトル線の中心に一致させることができることが可能である。

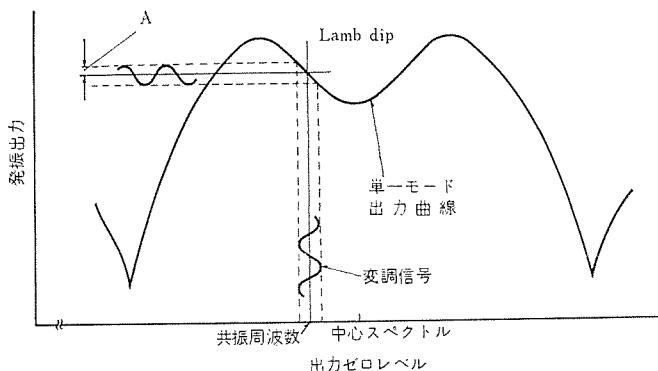


図 3.1 サーボ制御の原理（横軸：共振器長）  
Principle of servo control.

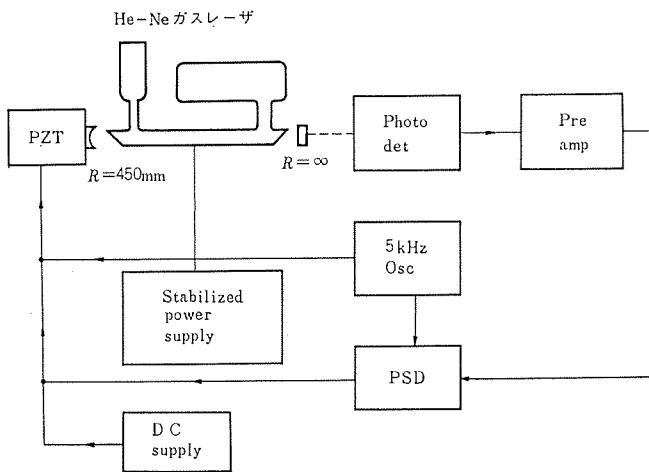


図 3.2 サーボ制御回路のブロック図  
Block diagram of servo control circuit.

図 3.2 にサーボ制御回路のブロック図を示す。5 kHz の周波数で変調されたレーザ出力は Photo Detector (三菱電機製 SSD) で電気信号に変換され、Pre Amp で増幅される。PSD は変調信号（5 kHz）と同一の周波数成分のみ直流に変換し、PZT に送る。その際位相が反転すれば PSD 出力の正負の符号が変わる。レーザがスペクトル線の中心で発振しているとき PSD 出力は零であるが、スペクトル線の中心からずれると正または負の PSD 出力が生じ、レーザを常にスペクトル線の中心周波数で発振させることができる。

次に比較的高い周波数安定度を有し、かつ簡便で安価な普及形の周波数安定化ガスレーザ装置の開発を目指して、われわれが独自に採用した方法について記す。この方法はスペーサを正（石英）と負（ネオセラムゼロガラス（日本電気硝子製）、 $\alpha \approx -4 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ ）の 2 種類の熱膨張係数の材料で構成し、石英の部分の熱膨張分をネオセラムゼロガラスの熱収縮で打ち消すことによりスペーサの長さを一定に保つ。

この形の共振器の特長としては第一に、スイッチオン後短時間で比較的高い周波数安定度が得られることであり、第二に共振器損失の増加が小さいことである。ガスレーザではスイッチオン後レーザ管の発熱によりスペーサの温度が上昇しつつ上側のスペーサの温度上昇が下側のスペーサのそれより大きいため、温度上昇がほぼ平衡点に達した時点では両スペーサの間に数  $^\circ\text{C}$  の温度差が生ずる。正負の材料からなるスペーサを用いると比較的高い周波数安定度が得られるばかりでなく、レーザ装置内上下の温度分布に関係なく補償するので、反射鏡の傾きによる共振器損失の増加が小さい。この補償形方式によれば、上記特長のほかに制御回路等が不要になり装置の小形化、操作の簡便化、価格の低減が可能になる。

#### 4. 共振器の構造

図 4.1 に従来から行なわれてきた Lamb dip によりサーボ制御を行なう方式の共振器構造を示す。この場合スペーサには石英を用い、石英の伸びを反射鏡、反射鏡支持部および電わい素子からなる部分の逆方向の熱膨張で打ち消し、共振器の実効的熱膨張係数をできるだけ小さくした。共振器長の変動に関係する各部分の長さ、その変動分、熱膨張係数、温度変動をそれぞれ  $l_i$ ,  $\Delta l_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\Delta T_i$  とすると、

$$\sum_i \Delta l_i = \sum_i \alpha_i l_i \Delta T_i \quad \dots (4.1)$$

となる。共振器の実効的熱膨張係数を  $\alpha_e$  とし、 $\Delta T_i$  を一定と仮定すると式 (4.1) より、

$$\alpha_e = \frac{1}{L} \sum_i \alpha_i l_i \quad \dots (4.2)$$

ここで  $L = \sum_i l_i$

式 (4.2) より  $\alpha_e \approx 0$  となるように各部分の長さを適当に決定した。

図 4.2 にスペーサに正負の熱膨張係数の材料を用いたときの補償形レーザ装置の写真を示す。この場合反射鏡支持機構の熱膨張を打

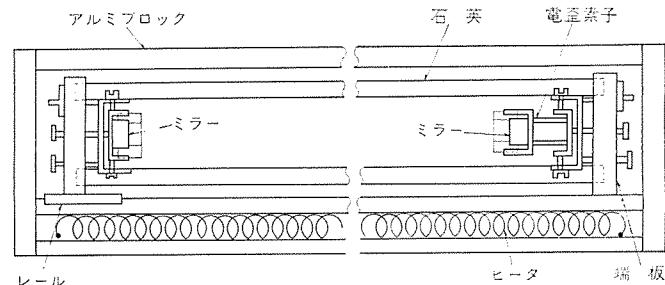


図 4.1 共振器の構造（共振器長 149 mm）  
Construction of resonator.

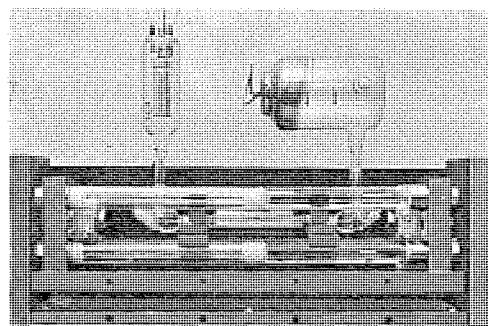


図 4.2 ガスレーザ装置  
Gas laser equipment.

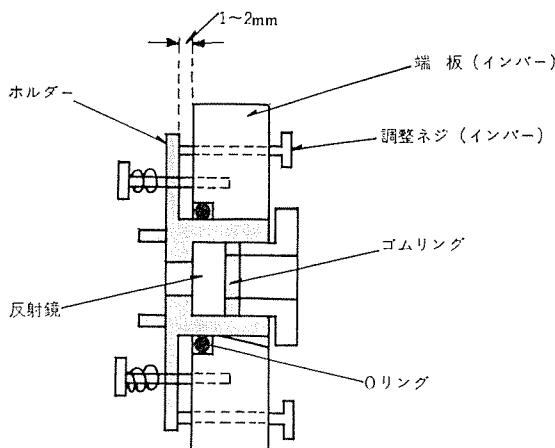


図 4.3 反射鏡支持機構  
Construction of mirror mount.

ち消すために、図 4.3 に示すように反射鏡の面と端板の面を一致させ、ホルダーと調整ねじを同一の材料（インバー）で作ることにより、この部分の熱膨張をゼロにした。この場合、補償形の共振器ではスペーサの熱膨張の打ち消しがどの程度よく行なわれるかによって、周波数安定度が決まる。

装置の設計において全体的に小形かつ強固となり、かつ振動は防振ゴムの使用で除去するように努めた。2.2.3 項に述べた窓板光路長の変化はレーザに適当に振動を与えて、ほぼ影響がないことを確認した。

レーザ管は有効放電長 11 cm、内径 1 mm の図 4.2 に示すような構造である。封入ガス圧力は 2.4 torr ( $\text{He}^3 : \text{Ne}^{20} = 6 : 1$ ) で、直流励起（陰極は熱陰極）で放電する。

### 5. 発振周波数の安定度の測定

周波数安定度は共振器内に電わい素子がある場合（スペーサは石英）には PSD 出力の校正值から決定し、補償形の場合は温度変動分と出力の変化（共振器長が半波長変化するごとに Lamb dip が現われる（図 2.2））から共振器の実効的熱膨張係数を算定することにより決定する。図 5.1 は前者の場合についてレーザ発振周波数の変動と PSD 出力との関係の測定例を示す。共振器長はスペーサの温度を上昇させて変化させ、温度こう配（時間に対する）が直線的な範囲を選定した。直線的であることは発振出力曲線が Lamb dip の中心を境にしてほぼ左右対称であることからわかる。

発振周波数の変動の値は縦方向モードの間隔が 1,010 MHz ( $L = 149 \text{ mm}$  として  $c/L \approx 1,010 \text{ MHz}$ ) であることから知ることができる。図 5.1 において発振周波数の変動分 42 MHz は周波数安定度

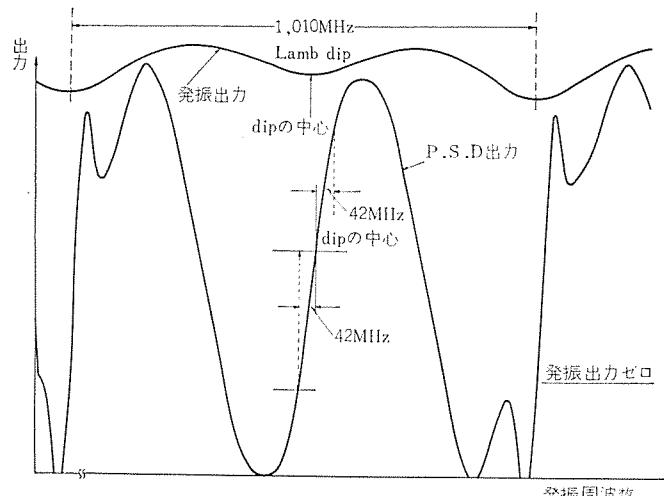


図 5.1 レーザ発振周波数の変動と PSD 出力  
Fluctuation of laser frequency and output of PSD.

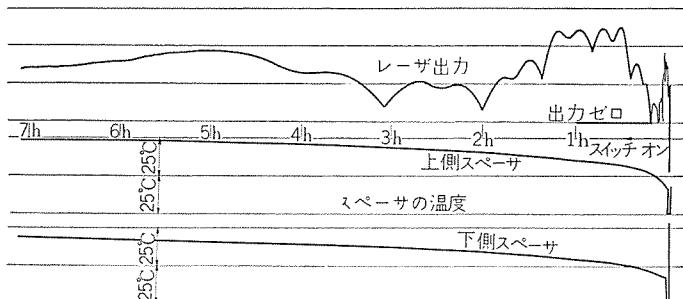


図 5.2 フリーランニング出力とスペーサの温度（スペーサ：石英）  
Free-running output power and temperature of spacers in the case of quartz spacer.

で  $9 \times 10^{-8}$  に相当する。したがって、少なくともその 1/10 の PSD 出力の変動の識別が可能である。ただしレーザ管の封入圧力の変化に伴いフペクトル線の中心が移動する（約 20 MHz/torr<sup>(8)</sup>）ので、この測定値が絶対的精度（確度）を意味するものでない。

図 5.2 に、スペーサに石英を使用し、図 4.3 に示す反射鏡支持機構を採用し、何ら制御しないときのレーザ出力のフリーランニング曲線（時間に対する出力の曲線）および上、下側のスペーサ（中央部）の温度変動を示す。データよりこの共振器の  $\alpha_e$  を計算すると  $\alpha_e = 5 \sim 6 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  となり、石英の熱膨張係数にほぼ一致する。出力の変動が著しく大きいのは Ne の 6328-A 線 ( $3\text{S}_2 - 2\text{P}_4$ ) と上位準位を共有する 3.39- $\mu\text{m}$  線 ( $3\text{S}_2 - 3\text{P}_4$ ) が同時発振するためであり、6328 A に対する共振器の損失が大きいとの同時発振が起こる。しかし損失の少ないブリュスター窓および反射鏡を用いることにより 3.39- $\mu\text{m}$  の発振を抑制できることがわかっている。

図 5.3 は石英のかわりに正および負の熱膨張係数の材料でスペーサを構成した場合である。この場合さらに、図 5.4 に示すようにレーザ管とスペーサを熱的に分離した構造に改良したので、上昇温度が前の場合より約  $7^\circ\text{C}$ （上、下側のスペーサの平均温度）で低減された。この共振器の  $\alpha_e$  は約  $1.5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  である。室温  $16^\circ\text{C}$  でスイッチオン（室温は  $23^\circ\text{C}$  まで上昇、その後  $\pm 1^\circ\text{C}$  の変化）3.5 時間後の周波数安定度は  $3 \times 10^{-7}/4$  時間である。

図 5.5 に、図 4.1 に示す共振器で温度制御を行なったときのレーザ出力と PSD 出力を示す。予熱時間 3 時間後に得られた周波数安定度は  $5 \times 10^{-8}/3$  時間以内である。温度制御は両方向性サイラストを使用した位相制御を行なっており、 $0.01^\circ\text{C}$  の温度変化に対して

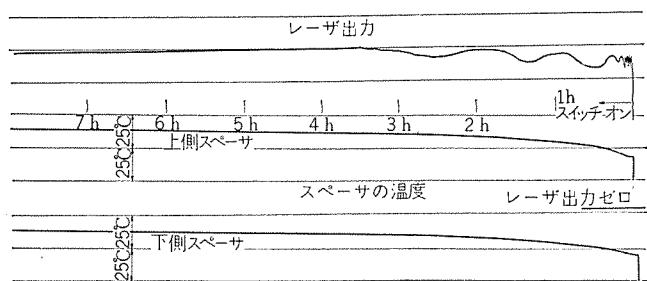


図 5.3 フリーランニング出力とスペーサの温度 (スペーサ: 補償形)  
Free-running output power and temperature of spacers in the case of compensator type.

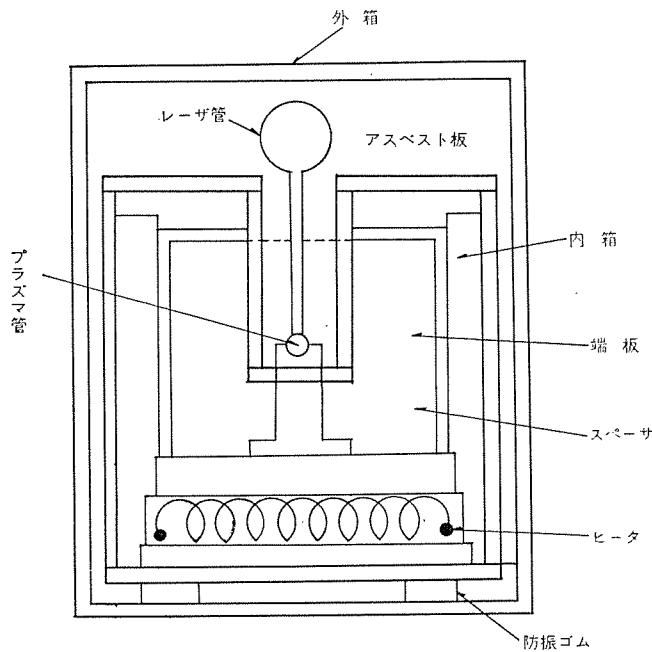


図 5.4 ガスレーザ装置の断面  
Cross section of gas laser equipment.

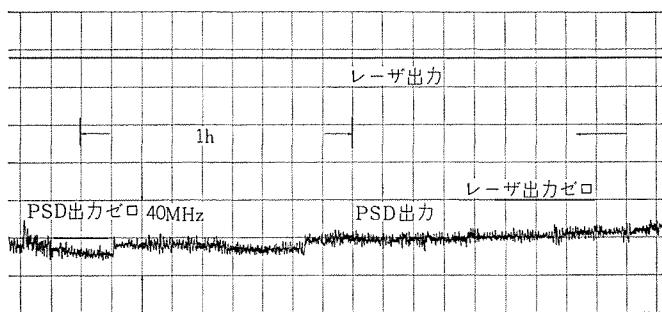


図 5.5 レーザ出力とPSD出力 (温度制御)  
Laser output power and output of PSD (temperature control).

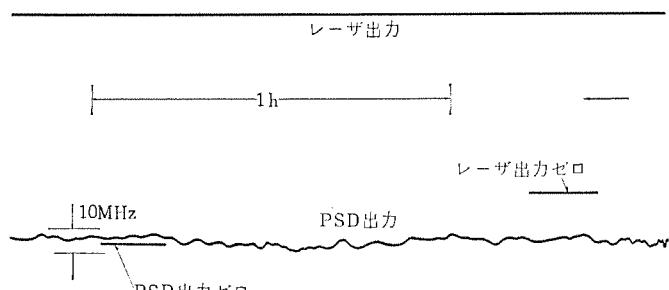


図 5.6 レーザ出力とPSD出力 (サーボ制御)  
Laser output power and output of PSD (servo control).

十分応答する。設定温度は 53°C で、温度は 3 時間で 0.1°C 以内に制御されている。

図 5.6 には温度制御にさらにサーボ制御を加えたときのレーザと PSD の出力を示す。得られた周波数安定度は  $1 \times 10^{-8} / 2$  時間以内である。

## 6. 検討

補償形の共振器において今後さらに改善すべきことは、第 1 に実効的熱膨張係数をさらに小さくすることであり、第 2 にスペーサの温度上昇をもっと低く抑えることである。前者はネオセラムゼロガラスの熱膨張係数が材料や温度が異なると  $\pm 5 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}$  のばらつきをもつことを考慮すると、 $5 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}$  が限度であろう。後者はレーザ管の陰極に冷陰極を採用し、図 5.4 に示す内箱の熱シールドをよくするとともに外箱の熱放散を大きくする（周囲温度の変動がスペーサに及ぼす影響とのかねあいである）ことによりその目的が達成される。スイッチオン後のスペーサの温度上昇を 10°C 以内に抑えることは可能であり、そうすればスイッチオン後短時間で比較的高い周波数安定度が得られる。

また、何ら特別の制御なしで  $1 \times 10^{-7}$  前後の周波数安定度を得ようとすると、2.2.2 項で記述したような空げきの影響も無視できなくなる。空げきは真空にするのが最も望ましいが、さもなければその長さを共振器長の十分の一以下にし、空気の対流を防止するよう、そのまわりをシールドする必要がある。本報告の共振器ではこのような措置がとられており、実効的熱膨張係数に対する空げきの影響は無視できる。

温度制御では、制御時の加熱電力の大きさが非常に敏感に制御温度の精度に影響するので、この大きさの選定が重要である。加熱電力は室温と設定温度とヒータの熱がスペーサに加わるまでの応答時間に依存する。この値は実験的に最適の値に設定された。温度制御回路では両方向性 サイリスタを使用した比例制御を行なっているが、加熱時間を短縮し、かつ高精度の温度制御を行なうには、比例制御とリレーによる on-off 制御との併用が有効である。

すなわち、設定温度近くまでの加熱は高電力を与えてその時間を短縮し、以後はリレーにより電力を最適の値に切り換える、比例制御で精度の高い温度制御を行なう。温度制御では  $5 \times 10^{-8} / 3$  時間以内の周波数安定度が得られたが、この程度の周波数安定度になると周囲温度の変動や外力の影響を長時間この安定度以内におさえることは通常の実験室ではむりであり、長時間安定度としてはこれが最高限度であろう。

サーボ制御では、Lamb dip の中心における変調信号出力の弁別精度できる周波数安定度は  $5 \times 10^{-9}$  であるので、今少し改善の余地がある。

なお、周波数安定度の測定は PSD 出力またはレーザ出力から求めたものであるが、今後はレーザ光のビートの測定によって確認していく予定である。

## 7. むすび

周波数安定化 He-Ne ガスレーザ装置を試作した。スペーサに石英を使用し、温度制御を行なって  $5 \times 10^{-8} / 3$  時間以内の周波数安定度を得た。さらにサーボ制御を加えて  $1 \times 10^{-8} / 2$  時間の周波数安定度が得られた。簡便で安価な普及形のガスレーザ装置の開発を目指して、スペーサを正と負の熱膨張係数の材料で構成する補償形方式を採用す

ることにより、何ら特別の制御を行なわずにスイッチオン3.5時間後約 $3 \times 10^{-7}$ ／4時間の周波数安定度を得た。

われわれの目的は精密測長用の光源として、單一周波数で $10^{-6}$ ／日の周波数安定度を有し、かつ安価なガスレーザ装置を作ることであるが、これらの装置はいずれも前者の目的の達成が可能である。価格の点からいと、サーボ制御形（温度制御と併用）、温度制御形、補償形（制御なし）と順に安価になるが、要求される周波数安定度の高さに対して必要な形を指定できる。特に補償形はわれわれの目的を最も満足するものであり、はん用の周波数安定化ガスレーザ装置として有望であると考えられる。今後の課題はいずれの形の場合もスイッチオン後の加熱の時間を短縮することであり、それぞれの場合について検討した。

#### 参考文献

- (1) A. Javan, W. R. Bennett, Jr. and D. R. Herriott : Phys. Rev. Letters, 6, 106 (1961)
- (2) W. R. Bennett, Jr., S. F. Jacobs, J. T. La-Tourret and P. Rabinowitz : Appl. Phys. Letters, 5, 56 (1964)
- (3) J. P. Gordon, H. J. Zeiger and C. H. Townes : Phys. Rev., 99, 1264 (1955)
- (4) G. Birnbaum : Proc. IEEE, 55, 1015 (1967)
- (5) W. R. C. Rowley and A. Javan : Phys. Rev. Letters, 10, 521 (1963)
- (6) K. Shimoda and A. Javan : J. Appl. Phys., 36, 718 (1965)
- (7) A. L. Bloom and D. L. Wright : Proc. IEEE, 54, 1290 (1966)
- (8) A. L. Bloom and D. L. Wright : Proc. IEEE, 54, 1290 (1966)
- (9) H. Nagai, I. Taniguchi, K. Tomishima and T. Miyaza : Japan. J. appl. Phys., 9, 109 (1970)

## 鉄損の連続試験装置

土屋 英司\*・鈴木 裕\*・下井 弘\*

## Continuous Iron Loss Testers

Central Research Laboratory

Hideshi TSUCHIYA・Hiroshi SUZUKI・Hiroshi SHIMOI

A continuous magnetic measurement is the best to have much information and to save labor in the magnetic test of silicon steel strips. Experiments have been made on various elemental problems with the equipment for making continuous and automatic recording of magnetic characteristics of the strips.

Now the equipment of compact and stable suited for the above operation has been made by applying solid state components to all circuits.

Up to the present it has been only practicable to run the grain oriented silicon steel strip at the speed up to 47 m/min and to record iron loss automatically because of the restriction of the running device. But the error ensuring the above speed is found within  $\pm 1.5\%$ . Judging from the response of each system of the equipment, this continuous iron loss tester can be applied to the strip speed as high as about 400 m/min.

## 1. まえがき

けい素鋼帶の磁気特性は、現在でも依然として鋼帶の両端から切取ったエプスタイン試片によって格付けされている。この場合、鋼帶両端部の磁気特性が必ずしも鋼帶全体の特性を代表していないことと、エプスタイン試験が破壊試験であり、試料採取および磁気測定にかなりの時間と人手を必要とすることなどもあって、品質管理用測定器としてあまり好ましくない。

磁気特性に関する情報量を多くし、省力化を達成するためには、当然鋼帶全長にわたって磁気特性を握ることが望ましく、かつこの測定器がほとんど人手を要せず安定に動作することが必要である。また近年鋼帶製造者においては、製造ラインを高速で操作し生産性をあげようとする傾向が強いので、磁気測定器もレスポンスの良いものが要求される。

われわれはけい素鋼帶の磁気特性を非破壊で連続して測定する装置について、以前から各種の検討を行なってきたが<sup>(1)</sup>~<sup>(3)</sup>、今回、安定動作、無人化および高速化の各点についてほぼ満足できる装置の試作に成功した。ここでは装置各部の改良点について説明した後、鋼帶を実際に走行させて鉄損を自動記録した結果について報告する。

## 2. 回路構成

鋼帶を連続して試験コイル内に通して、特定の磁束密度（ここでは方向性けい素鋼帶で  $B=15$  kG としたが、 $B=17$  kG にも簡単に改造できる）における基準鉄損を自動記録する場合の回路構成を図2.1に示した。

既報<sup>(3)</sup>の回路構成とほとんど同様であるが、板の厚さおよび特性の変動補正部

に用いていたメカニカルサーボを電子サーボに換えたことによって、磁束密度の基準化方式が多少変更された。また装置各部の回路は万能基板（90×110×2 mm）を1~2枚程度に構成し、装置全体で10枚（直流安定化電源回路を除いて）の基板に納めることができた。

この装置について簡単に説明すると、いま鋼帶が連続して走行し、鉄損の自動記録をしているものとする。基準鉄損は一般に単位重量あたりの値でもって示されるが、板の厚さが基準値（たとえば0.35 mm）からはずれた場合には、鋼帶の重量変化に伴う全鉄損の変化とともに、試験コイルのインピーダンスが変わるため、電源電圧が一定の場合鋼帶内の磁束密度も変化し、一定条件で記録が続けられなくなる。そこで板の厚さ変化に応じた補正を施すことが必要になる。

こうした厚さの変動が生じた場合、まず厚さ計①でそれを検出しついで、厚さの測定された個所が試験コイルの中心まで走行するため必要な時間遅れを遅延回路②で作り出す。この信号は、板厚補

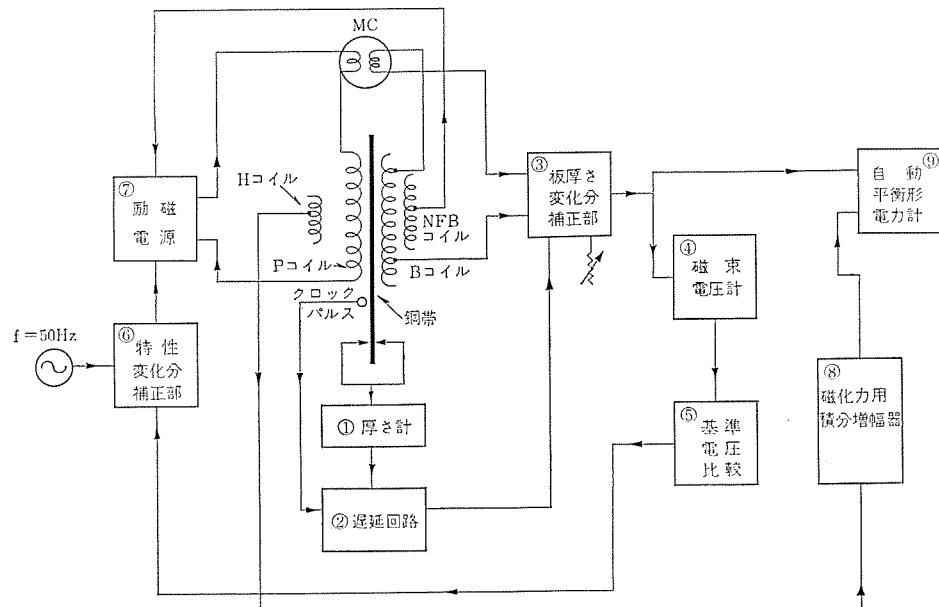


図 2.1 鉄損の連続試験装置の回路構成  
Block diagram of continuous iron loss tester.

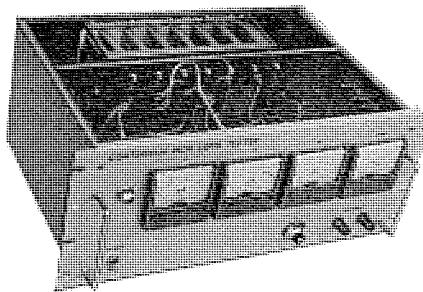


図 2.2 鉄損の連続試験装置  
Continuous iron loss tester.

正部③において試験コイルの二次誘起電圧に割算操作を施す。板の厚さ変化分を補正された二次誘起電圧は磁束電圧計④で整流した後、基準電圧比較回路⑤の  $B=15 \text{ kG}$  に比例した直流基準電圧と比較し、差電圧 ( $B=15 \text{ kG}$  からのずれ) が生じた場合には、特性変化分補正部⑥を動作させ、励磁電源⑦を調節すれば、鋼帯内の磁束密度は常に一定となる。このような動作方式の場合には、板の厚さに変動がなく、磁化特性の異なった部分が試験コイルに入った場合でも磁束密度を一定に保つことができる。

このようにして得られた基準磁束密度に比例した電圧と Hコイルに誘起する磁化力に比例した電圧を、相互の位相関係を⑧によって整えたのち電力計⑨によって乗算すれば、板の厚さおよび磁化特性の変動の影響を受けることなく基準鉄損が得られる。連続自動記録装置を図 2.2 に示した。

### 3. 装置各部の説明

連続自記装置を大別すると図 2.1 からも明らかなように、板の厚さ測定部、板の厚さ補正部、磁束密度設定部、特性変化分補正部、励磁電源部、磁化力用積分增幅部および電力計部で構成されている。以下にこれら装置各部の説明を行なう。

#### 3.1 板の厚さ測定部

鋼帯の厚さ測定には、超高压形エアマイクロメータを用い、ベローと差動トランジスタを組合せた圧力変換器によって電気信号を得ているが、従来の圧力変換器の応答速度は基準板厚さ (0.35 mm) から、板の厚さが  $\pm 10\%$  変動した範囲において 0.6 秒程度であった。そこで応答

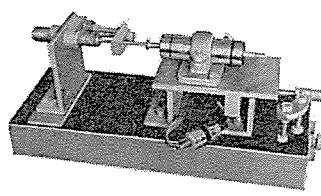


図 3.1 圧力変換器  
Pressure transducer.

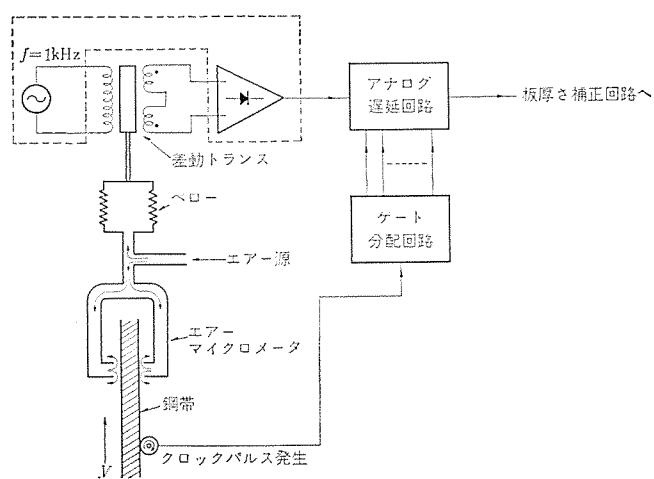


図 3.2 板厚さ測定部  
Thickness measuring device.

速度をより速くするために、ベローの内容積を  $1/20$  のものに改造した。その結果、板の厚さが  $\pm 10\%$  変動した範囲において、応答速度は 0.3 秒以下となり、従来の 2 倍の速さとなった。その圧力変換器を図 3.1 に、また板の厚さ計のブロック図を図 3.2 の左側に示した。この厚さ計の感度は  $10 \text{ mV}/\mu\text{m}$  である。

つぎに板の厚さの測定された個所が試験コイルの中心まで到達するのに必要な時間遅れを作り、常に試験コイルの中心部にある鋼帯の厚さに対応した鉄損測定の準備態勢が各部でできるように、われわれはサンプリング方式による遅延回路<sup>(4)</sup>を採用している。この方式では、サンプリングゲート、ホールド、リードアウト回路およびサンプリングパルス分配回路から成り立っている。この回路は従来万能基板を 12 枚用いて構成されていたが、各回路に検討を加えることによって各回路 10 チャネル分を 1 枚の基板で、また十進パルス分配回路は当社製モレクトロンを使用し基板 1 枚に納めた。この遅延回路の動作原理は従来と同様なのでその詳細は省略する。板の厚さ計と遅延回路とを組合わせ、板厚測定部として図 3.2 にまとめて示した。

#### 3.2 板の厚さ補正部

基準鉄損  $W(\text{watt}/\text{kg})$  は鋼帯の幅および厚さに関係なく単位重量における鉄損で表現される。したがって、基準鉄損の連続測定では鋼帯の幅および厚さに変動が生じた場合には、鋼帯内の磁束密度  $B$  や磁化力  $H$  は変動し、求められた鉄損は基準化された値でなくなる。

そこで求めた値が基準鉄損を示すように、厚さの変動を打消して  $B$  が一定となるように補正回路を設けることになるが、従来はこの部分にサーボモータを用いて厚さの変動を補正していたが、今回は応答をよくするために電子サーボつまり割算回路を設けた。連続測定では、鋼帯の幅は一定 (1 コイル 内では) であり、板の厚さのみについて考えればよいことになる。この割算回路は図 3.3 に示したように二次誘起電圧  $e_B$  を板厚信号で補正し、その出力で  $B$  および  $W$  を基準化するための装置である。

#### 3.3 磁束密度設定部

$B$  コイルにおける二次誘起電圧を、3.2 節で述べた回路で鋼帯の厚さ変動に応じて補正した後、その電圧を整流し、 $B=15 \text{ kG}$  に對

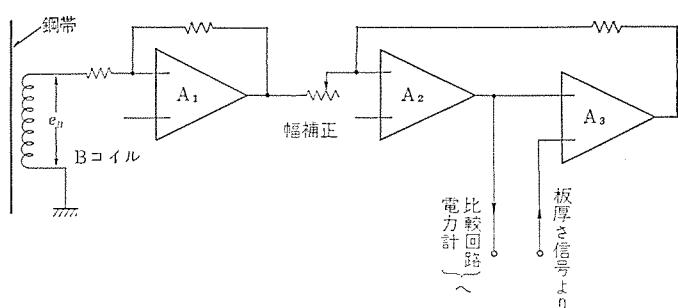


図 3.3 板厚さ補正部  
Thickness normalizer.

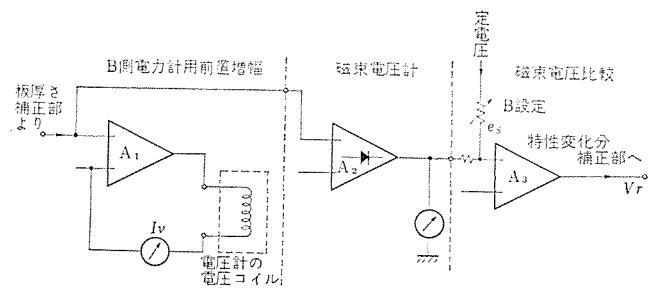


図 3.4 基準磁束密度設定部  
Flux density pre-setting device.

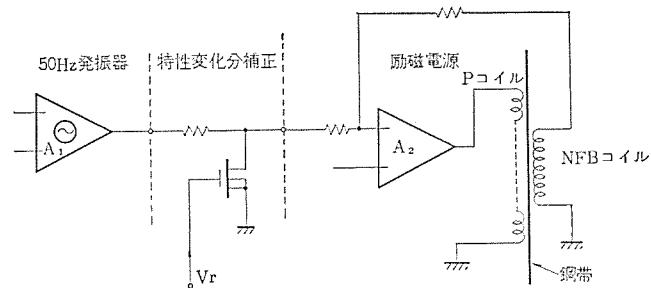


図 3.5 励磁電源  
Power source.

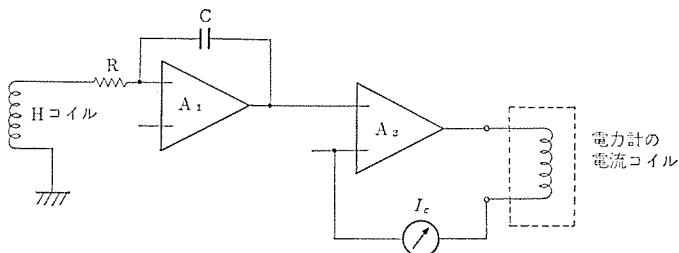


図 3.6 磁化力用積分増幅器  
H integrator-amplifier.

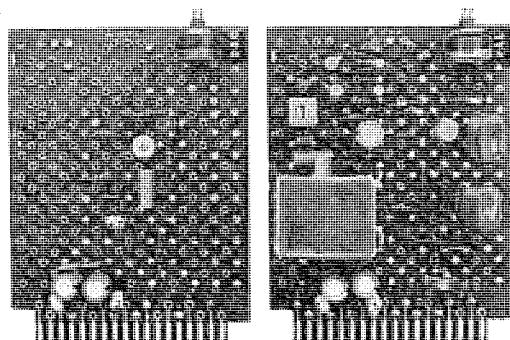


図 3.7 電力計用増幅器  
Wattmeter amplifier.

応した基準電圧  $e_s$  と比較して ( $B=17$  kG にするには  $e_s$  を変える) 両者間の差電圧を増幅し、次節で述べる特性変化分補正部に導入し、常に  $B$  を基準化するための回路で図 3.4 の中央から右側の部分がその働きをする。

図 3.4 の左側は基準化された磁束電圧を、電力計の電圧コイルに導入するための、インピーダンス変換を行なうための回路で、今回使用した電力計の定格に合わせて 10 mA の電流が流せる。

#### 3.4 特性変化分補正部と励磁電源

3.3 節に述べた磁束電圧と基準電圧との間に差があれば、それは、鋼帶の磁化特性変化に基づくものとみなすことができ、鋼帶内の磁束密度は規定の値に保持できないことを意味する。

そこで、この差電圧で鋼帶が規定の  $B$  になるまで励磁電圧を変化させる部分が特性変化分補正回路である。動作原理は MOS 形トランジスタの純抵抗効果を利用し、図 3.5 のように 50 Hz の発振器と励磁電源の間に接続し、3.3 節の差電圧  $V_r$  をゲートに導入するだけの簡単な方式である。なお、従来この部分にはサーボモータを用いており応答速度がおそかったが、電子式に改めることによって、この回路応答速度は 0.01 秒となった。

つぎに鉄心を含む回路に電圧を印加した場合、この印加電圧が正弦波であっても  $B-H$  の非直線性に基づく高調波が発生し、二次誘起電圧波形はひずんでくる。既報<sup>(3)</sup>では 1 kVA の電子管式電源に

試験コイルの二次誘起電圧を負帰還して、波形率の改善を計っていたが帰還さえ十分にかけられるなら電源の容量としては、鉄心の励磁 VA だけでも二次誘起電圧は完全な正弦波にすることができる。われわれは  $B=15$  kG に励磁するのに、10 W 程度のトランジスタアンプで十分なことを見出した。

発振器は ウィーンブリッジ 方式による  $f=50$  Hz 用の専ものを用いた。これらのブロックを図 3.5 に示した。

#### 3.5 磁化力用積分増幅部

H コイル法の測定原理を実現するためには積分器が必要であり、既報<sup>(3)</sup>のものは交流増幅器を用いた回路構成であったが、演算増幅器を用いたミラー積分器に改めて、位相特性および安定度をさらに改善した。この出力と基準磁束密度を乗算することによって基準鉄損を求められるが、われわれが用いた電力計の入力インピーダンスが低いので積分器の出力をそのまま導入することはできないため、これをインピーダンス変換して電力計に接続した。このインピーダンス変換用増幅器は 0.5 A の最大電流が流せる。これらを構成して図 3.6 に示した。

#### 3.6 電力計部

電力検出器としては感度がよく、直流出力が得られる自動平衡形電力計を用いている。この動作原理等については、すでに報告<sup>(1)</sup>されているので省略するが、今回改造した部分について述べると、電力計の振れ角検出用の励磁周波数を従来の 455 kHz から 50 kHz に下げて、外部雑音の影響を少なくした。また発振器と増幅器は別々の基板で構成して、相互の干渉をなくし安定度がさらによくなつた。その回路構成を図 3.7 に示したが、図の左側が 50 Hz の発振器で、右側は高周波増幅部、位相弁別部、直流増幅部で構成されている。

### 4. 鉄損の連続自動記録

3 章に述べた動作をもつ各部分を図 2.1 に示した回路構成にして鉄損の連続自動記録を行なつた。以下その実験の方法および結果について述べる。

#### 4.1 実験の目的

鉄損の連続測定を行なう場合、鋼帶の走行度が速いほど測定処理能力が向上し経済的であるが、測定系の時間遅れのために、誤差を限定すれば、走行速度は当然限定される。

ここでは図 2.1 の回路全系を動作させた場合、すなわち板の厚さおよび磁束密度に関して、自動補正しながら鋼帶を走行させた場合に得られた鉄損値が、鋼帶の走行速度によってどのように変化するかを求めようとするものである。

#### 4.2 試料

現在の鋼帶製造技術では、長さ方向の板厚さの変化は大体土 2% くらいに納まっており、磁気特性も急げきな変化は認められない。しかし応答速度の上限は、これらの変化が急げきな鋼帶において制約される。そこで、これらの鋼帶を用いて、材料規格で許される板

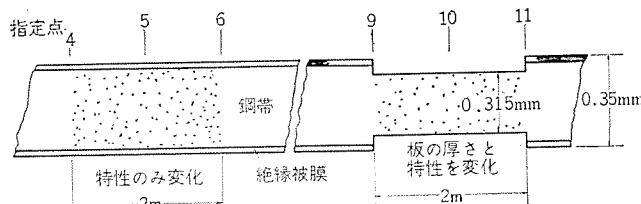


図 4.1 連続走行用試料  
Test strip for continuous running.

表 4.1 自記結果から読みとった鉄損値  
Iron losses at appointed points.

指定点 (m/min)	鉄損 W15/50														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2.6	1.025	1.026	1.026	1.078	1.526	1.435	1.026	1.013	1.039	1.539	1.777	1.026	1.026	1.026	1.026
11	1.025	1.026	1.026	1.092	1.536	1.428	1.026	1.013	1.025	1.539	1.765	1.015	1.026	1.020	1.020
19	1.026	1.020	1.030	1.078	1.513	1.421	1.023	1.015	1.052	1.539	1.777	1.020	1.030	1.021	1.025
25	1.025	1.025	1.023	1.078	1.539	1.435	1.021	1.010	1.025	1.539	1.765	1.018	1.022	1.026	1.032
36	1.025	1.029	1.025	1.065	1.539	1.448	1.025	1.008	1.039	1.546	1.800	1.025	1.025	1.019	1.030
47	1.026	1.025	1.020	1.078	1.539	1.448	1.026	1.014	1.025	1.546	1.777	1.025	1.026	1.024	1.026

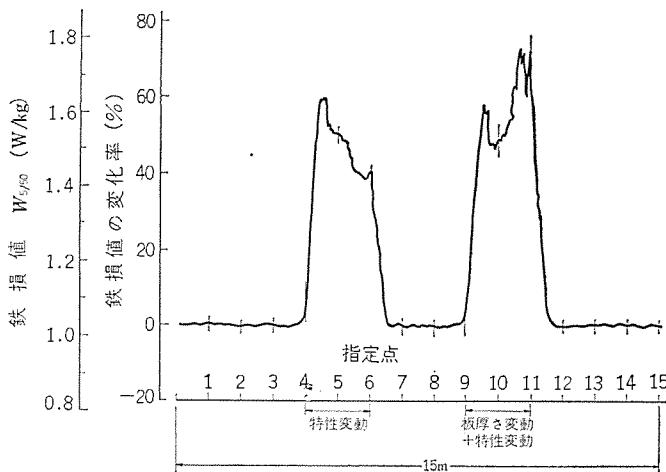


図 4.2 走行速度 2.6 m/min の鉄損自記結果  
Iron loss recording chart at running speed of 2.6 m/min.

厚さおよび特性の変動を故意に作り、最大危険側の鋼帶について特性の連続自記を試みた。

つまり、幅 150 mm にスリットした公称 0.35 mm 厚さの方向性けい素鋼帶 G-10 を約 50 m 用意し、そのうちほぼ中央部の 15 m について 1 m 間隔に指定点を施こし、この指定点 1～15 のうち 4～6 の範囲は特性変動のみ、9～11 の範囲は板の厚さと磁化特性の変動を故意に作り出したものを試料として用いた。これを図 4.1 に示した。

#### 4.3 実験方法および結果

##### (1) 装置全系の応答速度

実際に試料を連続走行させて磁気特性の自記を行なうのに先だって、まず板の厚さが変化した場合の装置全系の応答速度を調べるためにつぎのような実験をした。

すなわち試験コイル内に鋼帶をそう入して  $f=50$  Hz で  $B=15$  kG の励磁を与えておき、厚さ検出部に、この板の厚さの  $\pm 10\%$  のゲー

ジを出し入れした場合 ( $B=15$  kG  $\pm 10\%$  変化する) の応答を調べた。この場合の応答速度は約 0.3 秒であった。

##### (2) 鋼帶の連続走行実験

鋼帶の走行速度を 2.6～47 m/min の間 6 段階にわたって変化させ、各走行速度ごとに W15/50 の値を自動記録したのち、前述の試料に記した 15 点の指定点における鉄損の記録値を読みとって表 4.1 に示した。またこれら記録の内走行速度 2.6 m/min における鉄損の自記結果を図 4.2 に示した。

表 4.1 から明らかなように、板の厚さおよび特性の変化の少ない指定点と特性変動を大きくした指定点 4, 6, 9 および 11 においては、ともに予期したとおり鉄損は大きく異なっているが走行速度の上昇に伴う鉄損値の変化はほとんど認められない。

## 5. 実験結果に対する考察

### 5.1 装置全系の応答速度

板の厚さおよび励磁電圧をともに  $\pm 10\%$  変化させた場合の応答速度が 0.3 秒であったことから、走行速度の概略の上限を求めるのにつぎのような三つの場合が考えられる。

(1) 特性変化がなくて板の厚さだけが変化した場合

(2) 板の厚さが変化しないで特性だけが変化した場合

(3) 板の厚さおよび特性がともに変化した場合

(1) の場合には板の厚さ変動補正部が働くだけであるから、厚さ計から試験コイルの中心（現在は 2 m に設定）まで鋼帶が走行する間に補正系が動作していればよい。遅延回路で作り出すことできる最小遅延時間は 1 ms であるからこれを無視すると、

$$v_1 = \frac{2(m)}{0.3(s)} = 400 \text{ m/min}$$

すなわち板の厚さが  $10\%$  変化した鋼帶について測定するときには、最大 400 m/min の速度まで走行させてもよい。

(2) の場合には、鋼帶が厚さ計を通過したときには何の変化も起

表 5.1 走行速度に伴う鉄損値の偏差  
Deviation of iron losses at appointed points with running speed.

指定点 (m/min)	偏 差 (%)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11	0	0	0	1.3	0.7	-0.5	0	0	-1.4	0	-0.7	-1.1	0	-0.6	-0.6
19	0.1	-0.6	0.4	0	-0.9	-1.0	-0.3	0.2	1.3	0	0	-0.6	0.4	-0.5	-0.1
25	0	-0.1	-0.3	0	0.9	0	-0.5	-0.5	-1.4	0	-0.7	-0.8	-0.4	0	0.6
36	0	0.3	-0.1	-1.2	0.9	0.9	-0.1	-0.1	0	0.5	1.3	-0.1	-0.1	-0.7	0.4
47	0.1	-0.1	-0.6	0	0.9	0.9	0	0	-1.4	0.5	0	-0.1	0	-0.2	0

注) 1. 偏差  $= \frac{W_i - W_{2.6}}{W_{2.6}} \times 100$  (%)

2.  $W_i$  : 任意の走行速度における鉄損値

3.  $W_{2.6}$  : 走行速度 2.6 m/min における鉄損値

こらす、試験コイル内にはいったときに初めて特性変化分補正系が働くのであり、この補正系の時間遅れは0.01秒であり、この値を計算に用いることにする。測定コイル1.5m中、信号取り出し部分の長さは0.5m<sup>(2)</sup>であり、このうち1/5の区間までは、鋼帯がずれてもよいとの仮定を設けると、

$$v_2 = \frac{0.1(\text{m})}{0.01(\text{s})} = 600 \text{ m/min}$$

となる。

(3)の場合には、これら両者が組み合わされるのであるが、結局(1)の危険側の数値をとっておけばよい。

## 5.2 鋼帯の連続走行実験

表4.1において走行速度が2.6m/minでの鉄損値( $W_{2.6}$ )を基準にとり、他の速度における鉄損値( $W_v$ )との偏差を求めて表5.1に示した。いずれの指定点においても、走行速度の増大に伴う鉄損値の偏差について特定の傾向が認められず、特性変化の激しい指定点4, 6, 9および11において±1.5%以下であり、板の厚さおよび特性変動の少ない指定点においては±1%程度の偏差である。

また既報<sup>(3)</sup>のように、走行速度の増加に伴って、特性値の山(最大値)がだんだんずれて記録されるような現象は生じなかった。結局、今回のように装置各系の応答速度を速くしたものでは、現有の鋼帯送行設備のように、最大47m/minまでの走行しかできないものでは、実験により走行速度の上限を求ることはできなかったのが当然である。

こうした連続自記装置において、時間遅れの最も大きいエアマイクロメータをたとえば放射線厚さ計に、またそれについて時間遅れの大きい自動平衡形電力計を時分割乗算器などのような応答の速いものに換えれば、鋼帯の走行速度は5.1節で検討した上限まであげられるものと考えるが、その場合には、最終的に記録計の応答速度が問題になってこよう。

## 6. む す び

けい素鋼帯が、連続走行の状態において鉄損を自記する装置の改良部分の概要について述べたのち、実際に鋼帯を連続走行させ、おもに走行速度上限を求める実験を行なった。得られた結果を要約するとつぎのようになる。

(1) 自記装置本体は完全にソリッドスタート化され、430×300×200mmのR形シャシ1台に納まり、既報<sup>(3)</sup>の1/30以下の大さに納まつた。

(2) 操作部分を2箇所(電源のON-OFF、鋼帶走行のON-OFF)のみにしたので、特に専門知識のない人にも十分運転できるようになった。

(3) 通常入手できる鋼帯(厚さ変動は±2%前後で磁気特性の変動はほとんどない)を走行させた場合は、走行に伴う誤差を±2%許せば、走行速度の上限は400m/minでも鉄損の測定が可能である。

(4) 板の厚さの変動が10%，鉄損特性の変化が約80%という鋼帯について47m/minまでの連続自記を行なったが、走行による誤差は1.5%以内であった。

(昭和45-4-10受付)

## 参 考 文 献

- (1) 野口、土屋：けい素鋼帯の磁気特性自記装置、三菱電機35, No. 7, (昭36).
- (2) 野口、土屋、鈴木：けい素鋼帯の磁気特性連続自記装置—〈鉄損測定の誤差〉—、三菱電機技報、37, No. 12, (昭38).
- (3) 土屋、鈴木、岡田：けい素鋼帯の磁気特性連続自記装置—〈鋼帯の走行による誤差〉—、三菱電機技報41, No. 3, (昭42).
- (4) 下井、鈴木：サンプリング方式による遅延回路、特公44-30043, (昭44).

## X バンド ガンダイオードと発振器

白幡 潔\*・小木曾 弘司\*\*・中村 泰而\*\*  
三木秀二郎・\*\*\*三井 茂\*\*\*

## X-band Gunn Diodes and Oscillators

Kamakura Works

Kiyoshi SHIRAHATA・Kôshi OGISO・Taiji NAKAMURA

Kitaitami Works

Shujiro MIKI・Shigeru MITSUI

Stated herein are X-band Gunn diodes developed and Gunn oscillators using these diodes. Though some of the problems on their materials have not yet been completely settled, their output and reliability are considered to have reached a practical stage of usability; it is possible to produce diodes of good quality and small temperature dependence. In constructing the oscillators, it is required to heighten external Q, to make further improvement of the temperature dependence if necessary, and to promote the stability. As one of very effective methods, a loading of band rejection filters is stated here. In addition to a rather precise explanation of the oscillators produced with 50 sets in one lot, electronic tuning characteristics by means of varactors and characteristics when the oscillators are used as a homodyne detector are mentioned in the article.

## 1. まえがき

高電界中の III-V 族半導体における電流のマイクロ波振動、すなわちいわゆる ガン効果が、1963年、J. B. Gunn によって発表されて以来、ガンドイオードの実用化研究は進んで、10年を経ずして実用期に入り込んだように思われる。もちろん GaAs の材料面での研究はなお発展途上のものであるが、ガンドイオードに先立って、GaAs バラクタダイオードを開発していたことが幸して、比較的早い時期から、かなり高出力のガンドイオードの試作が可能となつた<sup>(1)</sup>。実用に十分な信頼性・安定性・量産性はその後の進歩によるものである。本文では特に発振周波数の温度依存性とバイアス電圧依存性との関連、および半導体材料の不純物濃度の与える影響について詳しく述べてある。

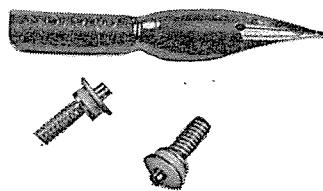
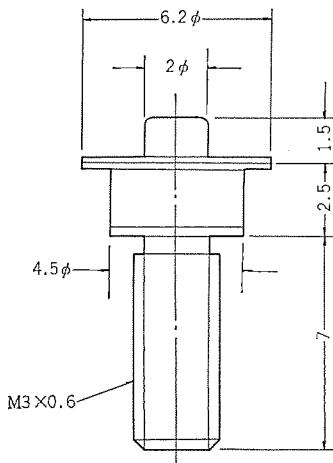
ガンドイオードの外観 Q はクラリストロンに較べて著しく低い。このことは温度依存性・安定性・雑音特性のうえからは非常に不利なことである。発振器の開口を絞るに従って Q は上がるが、出力は逆比例して低下するのが一般である。本文ではダイオードのもつ有能出力を、そこねることなく Q を上げる方法、およびその実際の一、二について詳しく述べてあるほか、バラクタによる電子同調発振器、ホモダイン検波器兼用発振器の特性についても記してある。実用期を迎えた現在、1 個の発振器よりは、まとまった数の発振器の特性のは握が大切であり、特定のものについて 1 ロット 50 台の諸特性が紹介されている。

## 2. ガンドイオード

## 2.1 材料とガンドイオードの構造

ガンドイオードの材料として最も広く用いられているのは、高純度 N 形 GaAs である。X-band の周波数で発振を起こさせるためには、発振動作層を約  $10\ \mu$  の薄さにする必要があるが、このような薄い層は、低抵抗 GaAs の基板上に気相成長、または、液相成長によって高純度 GaAs をエピタキシャル成長させて得ることができる。

発振動作層のキャリア濃度  $n$  は、目的とする発振周波数・発振モード<sup>(2)(3)</sup>、動作時の熱的条件<sup>(4)</sup>のほか、発振特性<sup>(5)</sup>（発振周波数、出力の温度および電圧依存性、負荷依存性）などを考慮して選ばれる。X-band 用 ガンドイオードとしては、一般に、動作層キャリア濃度が、

図 2.1 X-band ガンドイオード  
X-band Gunn diode.図 2.2 X-band ガンドイオード寸法  
X-band Gunn diode dimensions.

$1 \times 10^{15} \sim 3 \times 10^{15}/\text{cm}^3$  の範囲のものを使用する。この範囲よりもキャリア濃度が大きい場合には、連続発振を起こさせることができない。また、この範囲よりも小さい場合には、いわゆる LSA モード発振領域にはいるから、X バンドでの発振はできなくなる。

図 2.1 は、X-band ガンドイオードの外観である。ダイオード寸法を図 2.2 に示す。ダイオードの構造はエピタキシャル GaAs の上に、さらにオーム性コンタクトを完全にするための低抵抗  $N^{++}$ -GaAs の薄い層が気相成長で着けられ、いわゆる三層構造を成している。

セラミックケース中の銅 スタッドには、熱放散を良好にするため GaAs,

表 2.1 X-band ガンダイオードの形名と出力、周波数  
Types, output power and frequency of X-band Gunn oscillators.

ダイオード形名	MG-1014	MG-1017	MG-1019	MG-1020
発振出力 (mW)	25	50	75	100
発振周波数 (GHz)	10~11	10~11	10~11	10~11

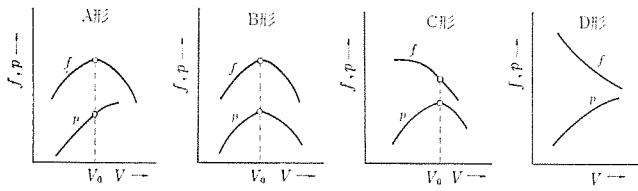


図 2.3 電圧一周波数, 電圧一出力電力特性から  
分類される静特性形

Classifications of Gunn diode based on  $V-f$ ,  $V-P$  characteristics.

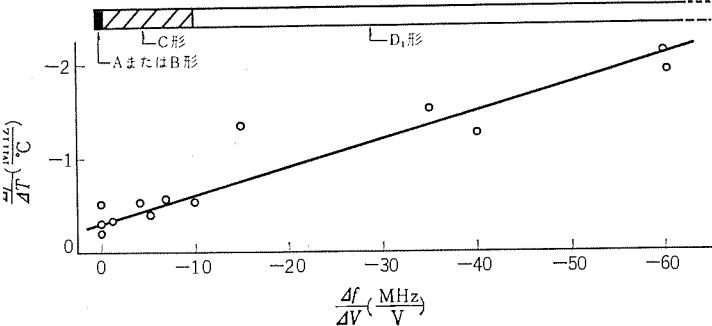


図 2.4  $\Delta f/\Delta V$  と  $\Delta f/\Delta T$  との関係  
Relation between  $\Delta f/\Delta V$  and  $\Delta f/\Delta T$ .

$N^{++}$  層側が取り付けられ、オーム接触されている。基板側は金線でキャップに接続され、バイアス電圧は正側が印加される。

## 2. 2 ガンダイオードの特性

X-band 用に設計された ガンダイオード<sup>6</sup> は、使用する キャビティの条件によって、中心周波数前後に 1 GHz 以上の帯域にわたって発振させることができる。

発振出力は、設計によって加減でき、また、できたダイオードによってある程度のばらつきはあるが、普通100mW程度で、効率は3%前後である。これまでに単一ダイスをマウントしたダイオードで、265mW<sup>(6)</sup>、複数ダイスをマウントしたダイオードで、450mWの出力を得ている<sup>(7)(8)</sup>。

表2.1は、当社 ガンダイオードの形名と、それに対応する最低発振出力・周波数範囲を示している。

ガンドイオードは、その発振出力と周波数のバイアス電圧依存性によって、図2.3に示すような四つの形に分類することができる<sup>(5)(6)</sup>。これらのダイオード特性の形は、おもに動作層のキャリア濃度によって決まるもので

$n \lesssim 1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$	D <sub>1</sub> 形
$1 \times 10^{15} \lesssim n \lesssim 2.5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$	A, B, C 形
$n \gtrsim 2.5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$	D <sub>2</sub> 形

となる。D形は、キャリア濃度の大きさによって、D<sub>1</sub>形とD<sub>2</sub>形に分けることができる。

図2.4は、A, B, C, およびD<sub>1</sub>各形ダイオードの発振周波数のバイアス電圧特性と温度特性との相関を示すもので、バイアス電圧依存性の大きいD<sub>1</sub>形は温度依存性も大きく、両者の相関はかなり強い。

ダイオードの製作、発振器の試験等からみて、実用上きわめて有用なことである。

$D_2$  形はバイアス電圧特性は  $D_1$  形に似ているが、温度特性は、A, B 形に似て非常に良い。これは不純物濃度が著しく濃いためと考えられる。なお A, B, C 形でも、 $dP/dV$  が負の領域では、 $D_1$  形同様温度特性が悪化し、雑音も増加する<sup>(10)</sup>。

ガンドイオードの信頼性に関しては、衝撃・熱衝撃・ヒートサイクルなど通常の半導体素子と同様の試験に十分耐えうることがわかっている。寿命に関しては、200時間以内に発生する初期不良を除けば10,000時間以上正常に動作することがわかってきた<sup>(11)</sup>。

### 3. ダイオードのマイクロ波測定

X バンドガンダイオードは、まずすべて図 3.1 に示す標準空洞にマウントし、基本マイクロ波特性、すなわち、バイアス電圧および短絡板位置に対する周波数・出力を測定する。標準空洞は E 面を薄くした導波管マウントで、MG-0900～1100 シリーズのダイオードに対しては、開口部の調整ビスのそな入なしに極大出力が出るようになっている。10.5 GHz で測定したリーケ線図の例を図 3.2 に示す。図 3.3 は、ダイオードから短絡板までの長さに対する周波数と出力の測定例である。ダイオードは、この標準空洞による測定で、MG-□□□□ に分類される。最初の二つの数字は、GHz で表わした周波数、次の二つの数字は、dBm で示した発振出力を示す。

温度特性がバイアス電圧特性から、推定できるということは、良質の

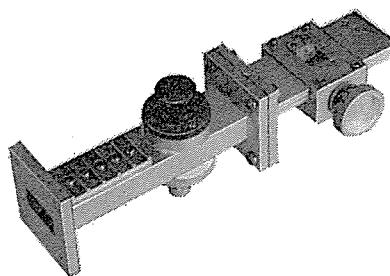


図 3.1 X-band ダイオード測定用標準空洞  
X-band standard cavity for diode measurement.

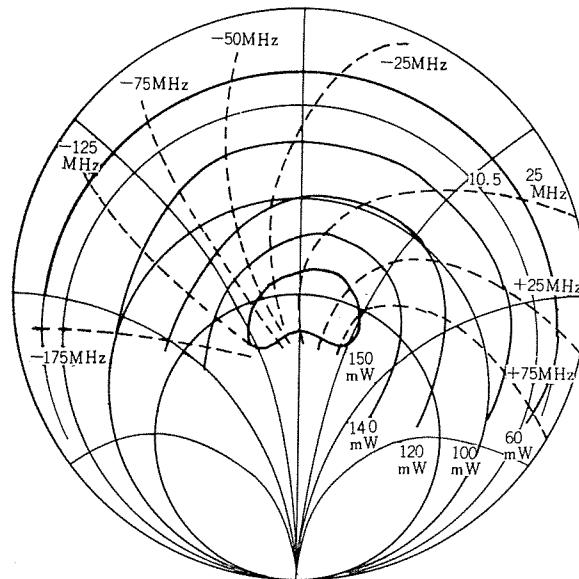


図 3.2 標準空洞発振器のリーケ線図  
Rieke diagram of standard cavity OSC.

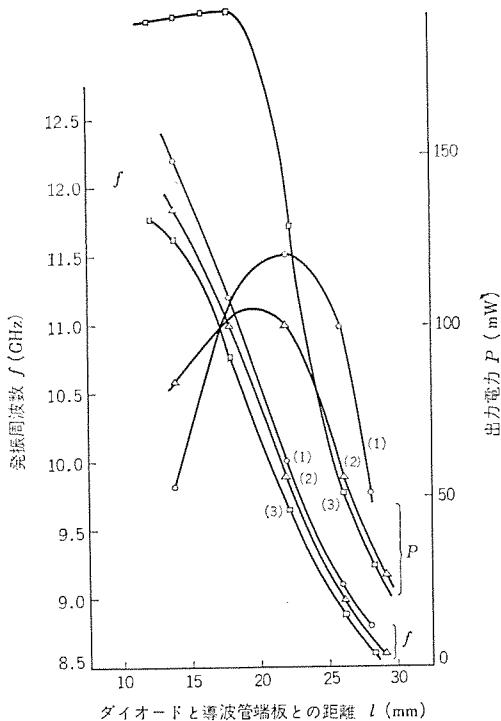


図 3.3 ダイオード・導波管端板間距離  $l$  と周波数  $f$  および  $P$  との関係  
Relations among  $f$ ,  $P$  and  $l$ .

#### 4. 発振器の構成

ガン発振器空洞は、基本的には、ダイオードと負荷との間の周波数条件と電力条件を満足させることにあるが、実用的には、それぞれの使用条件に応じて、周波数・出力等の安定性や、雑音特性をいっそう改善しなければならないことが多い。また、周波数可変のため、電子的同調が要求される場合もある。本章には、これらの事項を考慮した発振器の構成法について述べる。

##### 4.1 発振器の外部 $Q$ とダイオード定数<sup>(12)</sup>

ガン発振器の周波数安定性は、実用上十分でない場合が多い。温度依存性は、空洞にその構成材料と熱膨張係数の異なる材料を組み込めば相殺でき、負荷変動によるものは、アイソレータのそう入で防止できるが、安定性がクラリストロンより劣るのは、一つには、ガンダイオードが低インピーダンス素子のため、発振器としての外部  $Q$  が、図 3.2 のリーケ線図にみられるように低いためである。

負荷コンデンサに並列にそう入された規格化サセプタンス  $b$  による周波数変動 ( $\Delta f/f$ ) は、

$$|\Delta f/f| = b/2Q_{\text{ext}} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

と求められ、 $Q_{\text{ext}}$  に逆比例する。GaAs の電子移動度  $\mu$  は、ほぼ絶対温度に逆比例すると考えられるが、 $\mu$  の変化は、周波数の観点からすれば、サセプタンスの変化  $b$  に置換できるから、温度依存性は  $Q_{\text{ext}}$  に逆比例する。外部負荷サセプタンスの変動は、また、 $b$  で表わせるから、外部負荷の変動による安定性も  $Q_{\text{ext}}$  を高めれば改善できる。VSWR=1.5 に負荷インピーダンスが変化したときの周波数変化、pulling factor は式 (4.1) で  $b=0.42$  と置いて求められる。なお、雑音特性も  $Q_{\text{ext}}$  の2乗に逆比例して改善される。

以上述べたように、 $Q_{\text{ext}}$  を高めることは、定定化・低雑音化にとって有効である。 $Q_{\text{ext}}$  は空洞開口の適当な位置にアイリスをそう入して高めるのが一般であるが、ダイオード定数も  $Q_{\text{ext}}$  を高めるように選ぶことができる。ダイオードには一般に半導体素子と直列のイ

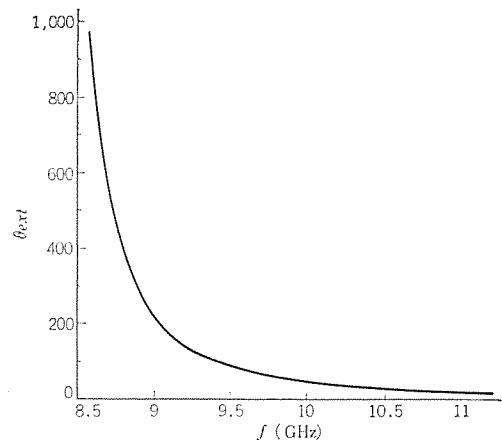


図 4.1 発振器周波数  $f$  と発振器の外部  $Q$  との関係  
Relation between oscillation frequency and its external  $Q$ .

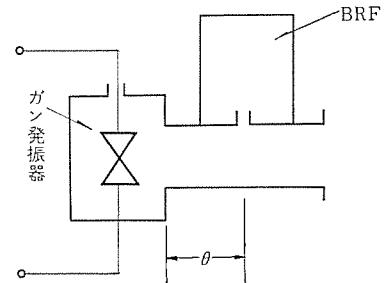


図 4.2 BRF 装荷ガン発振器ブロック図  
Block diagram of Gunn OSC loaded with BRF.

ンダクタンス、およびこれらと並列のパッケージ容量のため、直・並列共振周波数が存在する。直列共振周波数近傍では  $Q_{\text{ext}}$  は非常に大きい値となり、並列自己共振周波数では  $Q_{\text{ext}}$  は小さくなる。直列共振周波数 10 GHz、並列自己共振周波数 13 GHz のときの発振周波数  $f$  と  $Q_{\text{ext}}$  の関係例を図 4.1 に示す。すなわち、ダイオードの直列共振周波数を発振周波数近傍に選べば、容易に  $Q_{\text{ext}}$  の高い発振器を構成することができる。なお、導波管中のダイオードの直列共振周波数は、導波管の影響で、ダイオード自体の値より低くなる。

##### 4.2 BRF 装荷発振器<sup>(13)(14)(15)</sup>

発振器開口の近傍に高  $Q$  の帯域阻止器 (BRF) を疎結合し、出力の一部を BRF で帰還注入すれば、 $Q_{\text{ext}}$  (安定度) を著しく高めることができる。ブロック図を図 4.2 に示す。発振器の等価的な共振開放端と BRF との間の電気角  $\theta$  を変えると、その安定化の動作は、表 4.1 に示すように変化する。表 4.1 は電気角  $\theta$  が、0,  $\pi/4$ ,  $\pi/2$ ,  $3\pi/4$  の各場合の、BRF 共振周波数  $f_2$  を一定にして、原発振器の発振周波数  $f_1$  をえたときの BRF 装荷発振器の発振周波数  $f_3$  を示す。

ここで

$Q_1$  : 原発振器の外部  $Q$

$Q_2$  : BRF の内部  $Q$

$S$  :  $f_2$  で、BRF 装荷線路を通して無反射端をみたときの定在波比

$$b = (f_1 - f_2)/f_2$$

$$S = (f_3 - f_2)/f_2$$

である。図中の指定点  $P_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) での  $b$  および  $\theta$  の値も示してある。 $f_1$  を一定とし、 $f_2$  を変化したときの  $f_3$ 、および BRF 装荷発振器の外部  $Q$ 、BRF そう入損失も容易に計算できる。

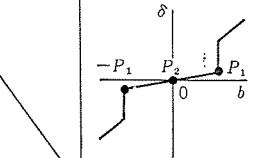
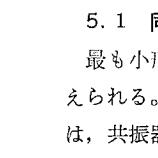
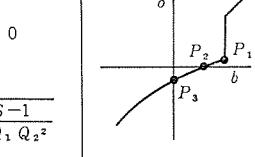
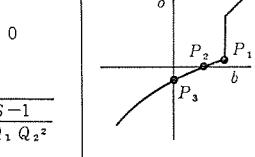
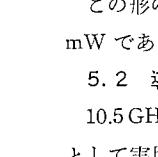
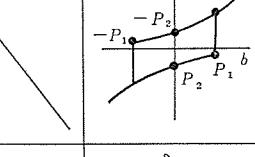
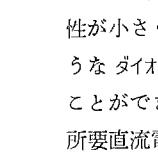
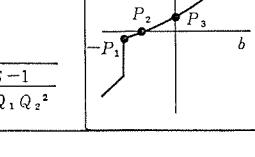
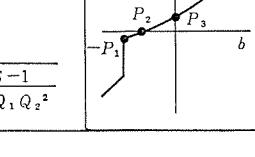
安定化帯域幅は、原発振器の外部  $Q$ 、 $Q_1$ 、に逆比例し、安定度、

表 4. 1  $f_1$ ,  $f_2$  と  $f_3$  との関係,  $b = (f_1 - f_2)/f_2$ ,

$$\delta = (f_3 - f_2)/f_2.$$

Frequency relations among  $f_1$ ,  $f_2$  and  $f_3$ .

$$b = (f_1 - f_2)/f_2, \delta = (f_3 - f_2)/f_2.$$

$\theta$	$P_1(\frac{b}{\delta})$	$P_2(\frac{b}{\delta})$	$P_3(\frac{b}{\delta})$	
0	$\frac{S-1}{4Q_1S}$	0		
	$\frac{S}{2Q_2}$	0		
$\frac{\pi}{4}$	$\frac{S-1}{Q_1(S+1)}$	$\frac{S^2-1}{2Q_1(S^2+1)}$	0	
	$\frac{S-1}{4Q_2}$	0	$\sqrt{\frac{S-1}{16Q_1Q_2^2}}$	
$\frac{\pi}{2}$	$\frac{S-1}{4Q_1}$	0		
	$-\frac{1}{2Q_1}$	$-\frac{S-1}{4Q_1Q_2}$		
$\frac{3\pi}{4}$	$-\frac{S-1}{Q_1(S+1)}$	$-\frac{S^2-1}{2Q_1(S^2+1)}$	0	
	$-\frac{S-1}{4Q_2}$	0	$\sqrt{\frac{S-1}{16Q_1Q_2^2}}$	

すなわち  $Q_{ext}$  は BRF の無負荷時の  $Q_1$ ,  $Q_2$  に比例して改善される。 $\theta$  は  $\frac{\pi}{2}$  近傍に選ぶと動作が不安定になるので、 $\theta \sim \pm \frac{\pi}{4}$  近傍に選ぶのがよい。 $Q_{ext}$  は、 $Q_2/4$  まで高めうるので、数千の  $Q_{ext}$  は容易に実現できる。そう入損の極大は  $(1+S)^2/4$  であって、 $S=1.8$  のとき、3 dB である。

#### 4.3 バラクタチューニング<sup>(10)</sup>

ガン発振器にバラクタを含む副共振器を結合し、バラクタ電圧  $V$  を変えて、発振周波数を変化させることができる。発振周波数  $f_3$  は、副共振器のないときを  $f_1$  とすると、 $f_2 \ll f_1$  または  $f_2 \gg f_1$  のとき、式(4.2)または  $f_2 \approx f_1$  のとき式(4.3)で与えられる。

$$f_3 = f_1 \left[ 1 + \frac{k^2}{2} \left( 1 + \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^2 \left( 1 - \frac{V}{\phi} \right)^n \right) \right], \quad f_2 \ll f_1, \quad \dots \quad (4.2)$$

$$f_3 = f_1 \left[ 1 + \frac{k^2 Q_2^2}{2} \left( 1 - \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^2 \left( 1 - \frac{V}{\phi} \right)^n \right) \right], \quad f_2 \approx f_1, \quad \dots \quad (4.3)$$

$$k = M/\sqrt{L_1 L_2}$$

ここで

$f_1$  : 副共振器のないときの発振周波数

$f_2$  : 副共振器の共振周波数

$f_3$  : バラクタチューニング付き発振周波数

$Q_2$  : 副共振器の内部  $Q$

$V$  : バラクタ電圧

$\phi$  : バラクタの拡散電位

$n$  : 接合の形状によって決まる定数

である。 $f_1 \approx f_2$  の場合は、こうでない場合に比べて、バイアス電圧変化に対して、急激にしかも逆方向に  $f_3$  が変化し、避けなければ

ならないことがわかる。なお、 $n=1$  の超階段 バラクタを用いれば、 $V$  に対する  $f_3$  の直線性がよくなる。また、 $n=1/2$  でも、回路の  $k$  に適当な周波数特性を持たせることにより、直線性をよくすることができる。

#### 5. 発振器の実際

##### 5.1 同軸共振導波管開口形発振器<sup>(6)</sup>

最も小形な発振器の一つとして、同軸共振導波管開口発振器が考えられる。図 5.1 は、この形の発振器の外観を示す。この発振器は、共振器軸長およびビスの調節により 1 GHz 以上 の範囲で発振する。

この形の発振器を用いて得られた最高出力は、9.29 GHz で 250 mW である。

##### 5.2 導波管形ガン発振器<sup>(9)</sup>

10.5 GHz 30 mW の クライストロン の代わりに、スピードメータ用発振源として実用化できる ガン発振器の外観を図 5.2 に示す。

2.2 節で述べたように、ガンドイオードの不純物濃度は、温度依存性が小さく、かつ、ほぼ一定値になるように作られている。このようなダイオードを用いて、特性の良好な発振器を量産性よく製作することができた。個々の発振器に簡単な電源 レギュレータを付属させ、所要直流電圧源の電圧に、ある程度の幅を持たせている。また、この発振器は高  $Q$  化してあるので、過酷な使用条件の下でも安定に動

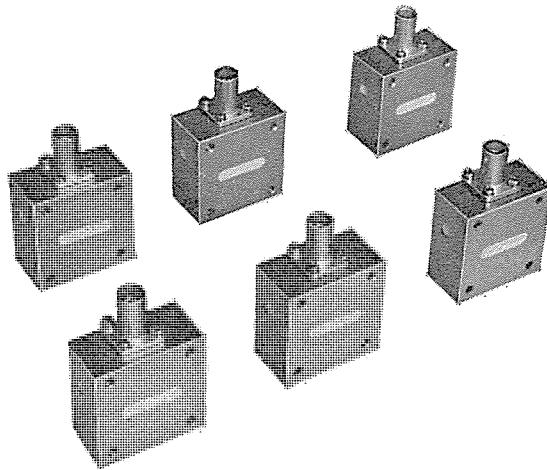


図 5.1 同軸共振導波管開口形ガン発振器  
Coax. resonator Gunn oscillator with WG aperture.

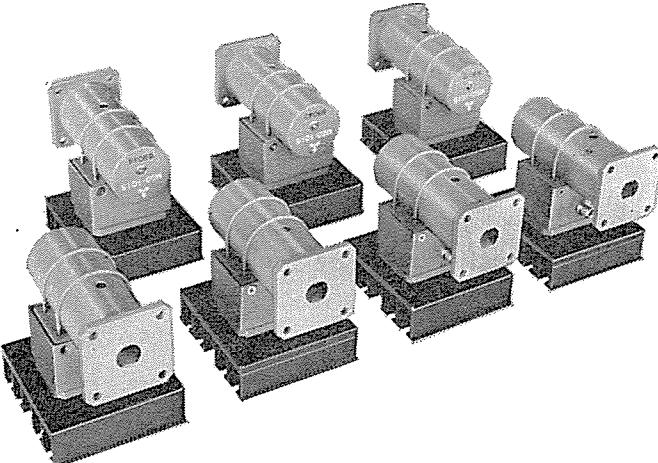


図 5.2 10.5 GHz 導波管形 ガン発振器 (電源 レギュレータ付)  
10.5 GHz WG type Gunn OSC (with regulator).

表 5.1 50台の発振器の平均発振特性  
Mean values of fifty oscillators' characteristics.

特 性	平 均 値
発振周波数 (MHz)	10,525
出力電力 (mW)	43
周波数安定度 (MHz/65°C)	5
周波数安定度 (MHz/V)	0.1
外部部 $Q$	170

表 5.2 BRF 装荷による発振特性の改善例  
Table of oscillation characteristics loaded with BRF.

特 性	(A) BRF なし	(B) BRF 装荷	(B) (A)
出力電力 (mW)	45	15	$\frac{1}{3}$
周波数の電圧依存性 (MHz/V)	110	0.5	$\frac{1}{220}$
周波数の温度依存性 (MHz/°C)	3.6	0.16	$\frac{1}{20}$
$Q_{ext}$	15	1,600	110
Pulling factor (MHz)	140	1.3	$\frac{1}{110}$

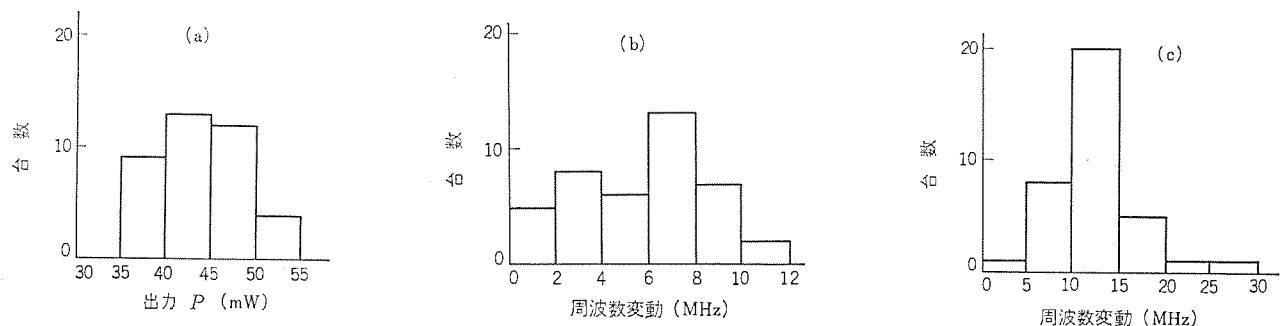


図 5.3 1ロット50台の特性分布 (a) 発振出力 (b)  $-15^{\circ}\text{C}$ ~ $50^{\circ}\text{C}$ における周波数変動 (c)  $\text{VSWR}=1.5$ のときのプリング周波数  
Characteristic distributions among one lot of fifty oscillators, (a) output powers, (b) frequency variations between temperatures of  $-15^{\circ}\text{C}$  and  $50^{\circ}\text{C}$ , (c) pulling frequency at 1.5 of VSWR.

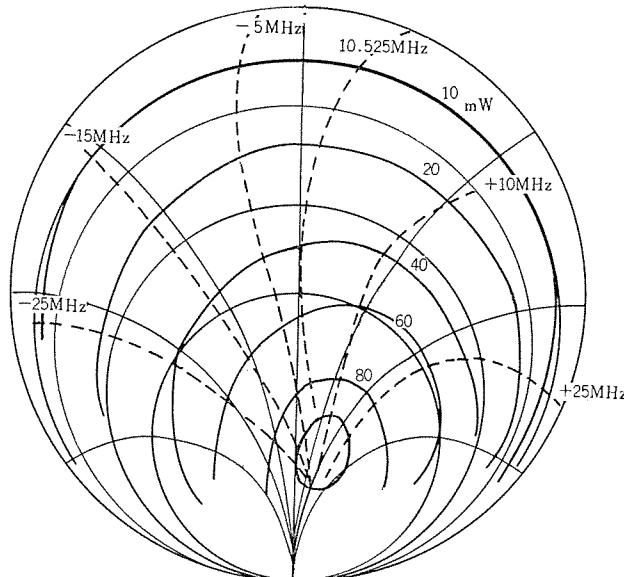


図 5.4 10.5 GHz 導波管形 ガン発振器のリーケ線図  
Rieke diagram of 10.5 GHz WG type Gunn OSC.

作する。1ロット50台の発振器の平均発振特性を表5.1に示す。また、50台の発振器の周波数の温度依存性、出力電力、およびVSWRが1.5のときのプリング周波数を、ヒストグラムで図5.3に示す。代表的なリーケ線図を、図5.4に周波数および出力の電源電圧に対する依存性を図5.5に示す。

### 5.3 BRF 装荷ガン発振器<sup>(17)</sup>

4.2節に示す原理に基づいて、構成した9.3GHz BRF装荷発振器の一例を図5.6に示す。開口近傍  $\theta=3\pi/4$ の点に、 $\text{TE}_{101}$  BRFを  $S=2$ で結合したものである。BRF内部  $Q$ は8,000程度であり、BRF無装荷時の発振器の外部  $Q$ は、ほぼ15である。

BRFを装荷したことによる発振特性の改善効果を、表5.2に示す。周波数の温度依存性は、BRF材料の熱膨張係数にほぼ等しく  $2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ となった。図5.7に、BRFを装荷したときとしないときの発振スペクトラムを比較して示す。

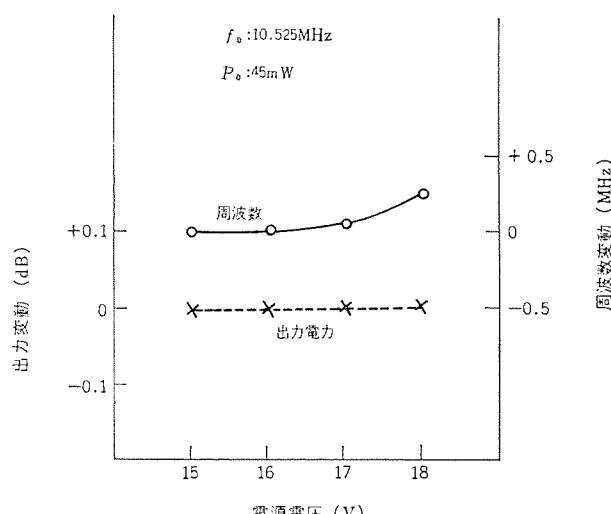


図 5.5 10.5 GHz 導波管形 ガン発振器の レギュレータ 入力電圧  
に対する周波数および出力変動  
Regulator input voltage vs. frequency & output power  
variation of 10.5 GHz WG type Gunn OSC.

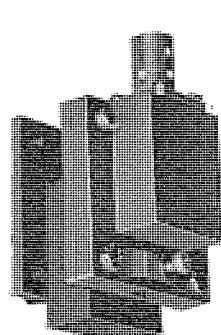


図 5.6 9.3 GHz 同軸形 BRF 装荷 ガン発振器  
9.3 GHz coax. type Gunn OSC. loaded with BRF.

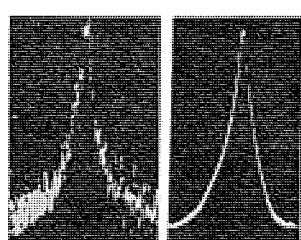


図 5.7 発振周波数 スペクトラム。  
BRF 付き(右)と BRF なし(左)  
Frequency spectrum of oscillator  
with BRF loaded (right) and  
BRF unloaded (left).

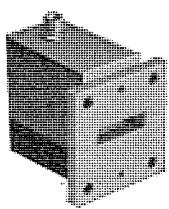


図 5.8 10.5 GHz 導波管形 BRF 装荷 ガン発振器  
10.5 GHz WG type Gunn OSC loaded with BRF.

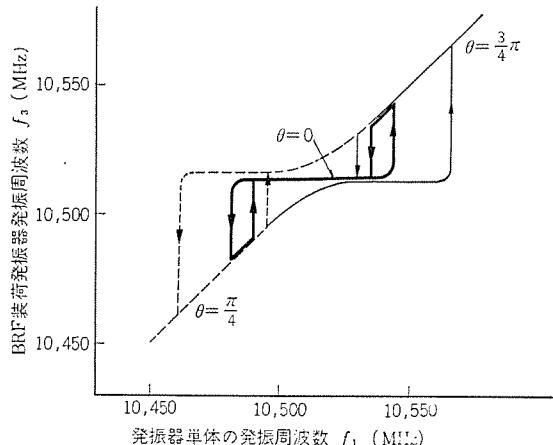


図 5.9  $f_2=10.5 \text{ GHz}$  固定とし,  $\theta=0, \pi/4, 3\pi/4$  の各場合の  $f_1$  と  $f_3$  の関係の測定結果  
Experimental results of relations between  $f_1$  and  $f_3$  at constant  $f_2$  and at  $0, \pi/4, 3\pi/4$  of  $\theta$ .

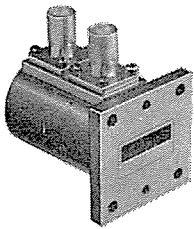


図 5.10 導波管形 バラクタチューナ付き ガン発振器  
WG type Gunn OSC. with varactor tuner.

図 5.8 は導波管形 BRF 装荷 ガン発振器の外観を示す。発振器共振開放基準面と BRF 開口との間の電気角  $\theta$  をパラメータとして、BRF の共振周波数  $f_2$  を変えたときの発振周波数  $f_3$  の測定結果を図 5.9 に示す。4.2 節に述べた計算結果と非常によく一致している。

#### 5.4 バラクタチューナ付きガン発振器<sup>(18)</sup>

4.3 節に述べたような バラクタチューナを組込んだ ガン発振器を、図 5.10 に示す。

当社製試作超階段 バラクタを用いたときの電子同調特性を、図 5.11 に示す。バイアス電圧に対する発振周波数偏移の直線性は、原理的によいことが実証されている。変調感度は、結合度最大のとき 20 MHz/V である。

当社製 MV 8000 バラクタを用いたときの特性例も、図 5.11 に示されている。超階段 バラクタに比べて、バイアス電圧に対する周波数偏移の直線性は劣るが、バラクタ そう入損およびバイアス電圧に対する出力変化が小さい。

#### 5.5 検波兼用発振器<sup>(19)(20)(21)</sup>

ガンダイオードには  $V-I$  特性に非直線性があるため、ガン発振器に発振周波数近傍の微弱電波を入射させると、バイアス回路から差周波数出力を取り出すことができる。したがって、ガン発振器を送受信

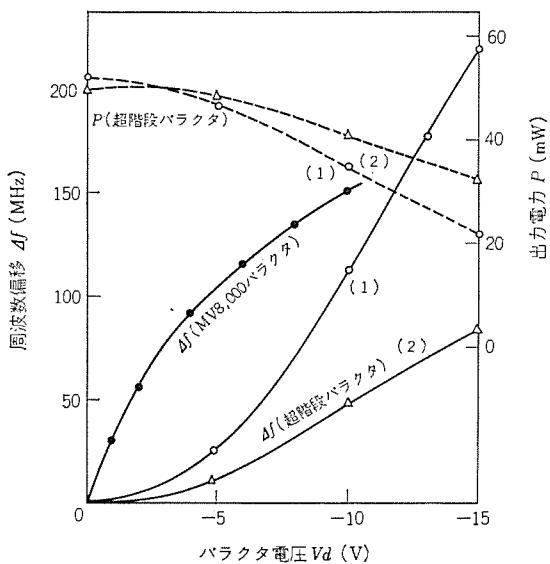


図 5.11 ガン発振器のバラクタ同調特性  
Varactor tuning characteristics of Gunn OSC.

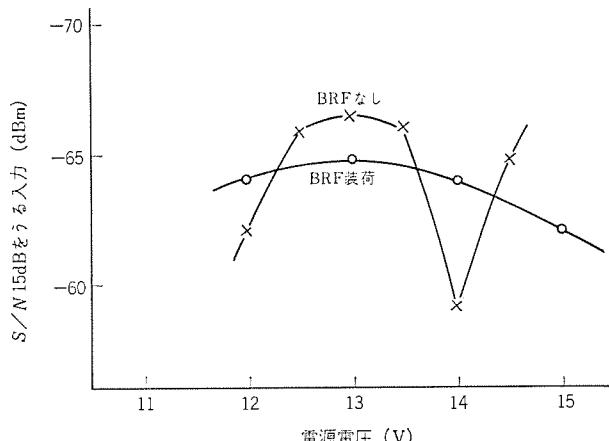


図 5.12 ガン発振器のホモダイン検波器としての感度  
Sensitivity of oscillator as homodyne detector with and without BRF.

源とする簡潔な ドップラーレーダ の構成が考えられる。

ドップラ 周波数  $f_d$  は

$$f_d = 2f_t v / c = |f_t - f_r|$$

で表わされる。ここに

$f_t$  : 送信周波数

$f_r$  : 移動体からの反射波の周波数

■  $v$  : 移動体の速度

$c$  : 光速

である。したがって  $f_t = 10.525 \text{ GHz}$  とする場合

$$f_d(\text{Hz}) = 70 v(\text{m/s}) = 19.5 v(\text{km/h})$$

であって、地上移動体では、可聴周波数となる。

ドップラ 信号は、バイアス回路に直列に インダクタンス または抵抗を接続して取り出しうる。前者は、バイアス回路の安定性、ダイオード端子電圧の過渡特性等に対する配慮が必要である。後者の場合、抵抗値が大きいほど検波感度は上がるが、実用的な値は電源電圧で決まる。オーディオアンプを含めた最小検出感度は、300~2,500 Hz で  $S/N = 15 \text{ dB}$  のとき、-55~-65 dBm であった。この値は前者の方式より 10 dB 程度わるいが、近距離 スピードメータ 用としては十分と考えられる。

負荷抵抗による電圧降下も含めたバイアス電源電圧に対する  $S/N = 15 \text{ dB}$  とする入力信号レベルを図 5.12 に示す。発振器開口に B

RF を装荷した場合、BRF 装荷による  $S/N$  の改善は認められないが、発振周波数の安定化および検出感度のバイアス依存性の安定化に有効である。用いた発振器外観は図 5.8 に示されている。

## 6. む す び

当社で開発し製造している X バンドガンドイオード、および各種 ガン発振器の概要について紹介した。ガン発振器は、クライストロンに比べて電源消費電力がほぼ  $1/4$  に減り、所要電圧が  $13\text{V}$  と低いために、トランジスタ増幅器とのなじみもよく、置換による原価減小形化のメリットは大きい。電源コードの不要な、ひも付きでないマイクロ波機器、測定器のもたらすメリットも大きいであろう。さらにガン発振器の特長を生かした、ガン発振器が応用されるにふさわしいマイクロ波・機器・システムの開発が今後の課題である。(昭和 45-4-6 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 奥ほか：三菱電機技報, 41, No. 9 (昭 42)
- (2) J. A. Copeland : IEEE Trans., Electron Devices, ED-14, 55 (1967)
- (3) H. A. Watson : Microwave Semiconductor Devices and Their Circuit Application, McGraw-Hill, Inc., 519 (1969)
- (4) S. Knight : Proc. IEEE, 55, 112 (1967)

- (5) 三井ほか：信学会、マイクロ波研資, MW 69-42, (昭 44-10)
- (6) 石原ほか：昭 44 四学連大, 1,562 (昭 44)
- (7) S. Mitsui : IEEE, MTT-17, 1,158 (1969)
- (8) 三井ほか：昭 44 四学連大, 1,964 (昭 44)
- (9) 小木曾ほか：昭 44 信学全大, 437 (昭 44)
- (10) 白幡ほか：昭 44 四学連大, 1,569 (昭 44)
- (11) 近藤ほか：昭 44 四学連大, 1,972 (昭 44)
- (12) 白幡ほか：信学会、マイクロ波研資, MW 68-64, (昭 44)
- (13) 白幡：信学会、マイクロ波研資, MW 69-8, (昭 44-05)
- (14) 白幡：信学 (B) 論誌, 52-B. 8, 485 (昭 44-8)
- (15) K. Shirahata : Stabilization of Solid State Microwave Oscillator by loaded BRF, 74, 1969 European Microwave Conference, 8-12, Sept. 1969, London.
- (16) 白幡ほか：昭 44 四学連大, 1,571 (昭 44)
- (17) 白幡ほか：昭 44 信学全大, 439 (昭 44)
- (18) 斎藤ほか：昭 44 信学全大, 441 (昭 44)
- (19) 白幡ほか：昭 44 四学連大, 1,570 (昭 44)
- (20) 小木曾ほか：信学会、マイクロ波研資, MW 69-43, (昭 44-10)
- (21) 小木曾ほか：昭 45 四学連大, 1,379 (昭 45)

## 正 誤 表

(1) Vol. 44 No. 5 新燃焼方式 (MICS)

ペ - ジ	誤	正
602 左, 上から 17 行目	1.0	0.0
上から 19 行目	1.1~1.8	0.1~0.8
上から 44 行目	1.8	0.8
上から 50 行目	1.0	0.0

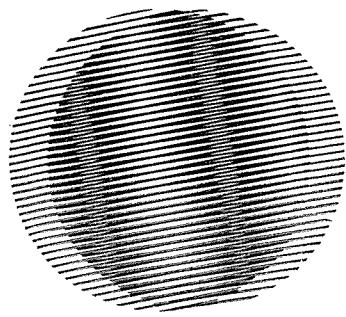
(2) Vol. 44 No. 6 ガス温風暖房機 (クリーンヒーター)

ペ - ジ	誤	正
841 右, 上から 20 行目	1.5	0.5

最近登録された当社の特許

名 称	登 錄 日	登 錄 番 号	考 案 者	関 係 場 所
電動機の制御装置	43-11-26	532759	三橋英一	伊丹製作所
電動機速度制御装置	43-11-26	342760	中野久夫	長崎製作所
直流電動機の制御装置	43-11-26	532761	六藤孝雄	伊丹製作所
優先遮断保護継電装置	43-11-26	532762	古谷昭雄・高田信治	神戸製作所
送電線保護継電装置	43-11-26	532763	古谷昭雄	神戸製作所
系統分離装置	43-11-26	532764	三上一郎	神戸製作所
電動機制御装置	43-11-26	532765	赤松昌彦	中央研究所
温度制御装置	43-11-26	532766	安東 滋	中央研究所
籠形誘導発電機の出力電圧調整装置	43-11-26	532767	岡 久雄・杉本盛行	北伊丹製作所
導波管の短絡器	43-11-26	532768	伴 和絵	通信機製作所
冷蔵庫	43-12-11	533881	中島智信	静岡製作所
保護継電装置	43-12-11	533882	森 健	神戸製作所
保護継電装置	43-12-11	533883	森 健	神戸製作所
BF <sub>3</sub> 比例計数管	43-12-11	533884	宮下恭一・高田 守	中央研究所
タップ 切換機器	43-12-11	533885	嶋 裕史・吉田和夫	伊丹製作所
バネル、ディスプレイ 装置	43-12-11	533886	吉沢達夫・伊吹順章	中央研究所
遅延継電器	43-12-17	534192	佐野善之助・阪尾正義	伊丹製作所
電気車の電気制動装置	43-12-17	534193	六藤孝雄	伊丹製作所
加工間隙調整装置	44-1-9	535349	前田祐雄・斎藤長男 荒井伸治	名古屋製作所
放電加工装置	44-1-9	535350	前田祐雄・斎藤長男	名古屋製作所
光量計	44-1-9	535351	中西武三・渡辺勢夫	中央研究所
半導体装置	44-1-9	535352	中田伏祐	北伊丹製作所
同期機装置	44-1-9	535353	赤松昌彦	中央研究所
しゃ断装置	44-1-9	535354	宮本紀男・潮 恒郎	中央研究所
超電導コイル	44-1-9	535355	金関直弥・岩本稚民 佐藤 隆	中央研究所
超電導コイル	44-1-9	535356	岡上公彦・高月 一 岩本稚民	中央研究所
多方向多重通信方式	44-1-23	536468	小林信三・大西熊一	通信機製作所
人工瀑布照明装置	44-1-23	536469	金関 勇・糸岡義太郎	大船製作所
周波数変換装置	44-1-23	536470	大野栄一・赤松昌彦	中央研究所
高圧水銀ランプの添加物封入方法	44-1-23	536471	土橋理博・高井美則 若林正雄	大船製作所
密閉容器内制御棒の位置検出装置	44-1-23	536472	阿部康宏・広川利雄	伊丹製作所
内燃機関点火装置	44-1-23	536473	三木隆雄・浜野博司	姫路製作所
PNPN スイッチングダイオードを使用した発振回路	44-1-23	536474	大島征一	北伊丹製作所
PNPN スイッチングダイオードを使用した発振回路	44-1-23	536475	大島征一	北伊丹製作所
内燃機関点火装置	44-1-23	536476	三木隆雄	姫路製作所
内燃機関点火装置	44-1-23	536477	日野利之	姫路製作所
ストリップ 線路による多端子対 サーキュレータ	44-2-4	536850	中原昭次郎・紅林秀都司	鎌倉製作所
保護継電装置	44-2-4	536851	森 健	神戸製作所
負性抵抗増巾器	44-2-27	537450	白幡 潔・武富大児	鎌倉製作所
油遮断器	44-2-27	537451	勝田久登・竹内孝治	神戸製作所
鉄心の製作方法	44-3-13	538463	伊藤公男	中央研究所
位相差測定方式	44-3-13	538464	中原昭次郎	鎌倉製作所
位相差検出装置	44-3-13	538465	三上一郎・服部 修	神戸製作所
電気鍋	44-3-13	538466	長谷川 清	群馬製作所
単相誘導電動機	44-3-13	538467	梶谷定之・横山昌弘	名古屋製作所
中継局に於ける信号挿入方法	44-3-13	538468	阿部 修・君川 治	通信機製作所
ターピン 軸回転指示計の模擬回路	44-3-13	538469	桑田 博・三田村真次	鎌倉製作所
始動電動機制御装置	44-4-3	539377	平田 穀・荒金堅次郎	姫路製作所
アーク炉誘導攪拌装置	44-4-3	539378	山本利栄・田口 堅	伊丹製作所
電磁開閉器	44-4-3	539379	吉田太郎	名古屋製作所
電気化学的積分装置	44-4-3	539380	秦 卓也・松岡宏昌	中央研究所
半導体集積回路用 ダイオード 及びその製造方法	44-4-3	539381	土屋鉢平	北伊丹製作所

# 新製品紹介



## パネルクーラータイプ変圧器

当社では、44年10月より一部の機種に、パネルクーラーを採用していたが、45年6月に、パネルクーラー専用の生産設備が完成し、7月より全機種について、パネルクーラータイプの新シリーズ変圧器の生産を開始した。

この新シリーズ変圧器は、従来の帯状放熱器に代って、新形の板状放熱器（パネルクーラー）を採用すると同時に、全部品についてさらに検討を加え、よりいっそう完全な変圧器となっている。

### ■特長

(1) 従来品と比べいっそう小形化されている。したがってキューピタル用としても十分使用できる。

(2) 近代感覚にマッチしたスマートなデザインである。

(3) 溶接構造に代わって、大幅にプレス成形構造を採用、新形ブッシングの採用、新形油面温度計の採用等により、密封の信頼性が一段と向上した。

(4) クーラーの標準化により、短納期品にも即応できる。

### ■仕様

形 式	形 名	定 格				
		相 数	周 波 数 Hz	容 量 kVA	一 次 電 壓	二 次 電 壓 V
油入自冷式 屋 外 用	SF (巻鉄心)	1	50	75~200	6 kV (5 タップ) 3 kV (5 タップ)	210 105
	RAT (積鉄心)			250, 300		
	RA (積鉄心)	3	50	400~1,000	6 kV (5 タップ) 3 kV (3 タップ) 6 kV (3 タップ) 3 kV (2 タップ)	210
	RAT (積鉄心)			60		
				50		

上記に示した容量については、もちろんのこと標準変圧器以外の「タイラントス」をはじめ、その他特殊変圧器も新シリーズ変圧器となっている。

[名古屋製作所]

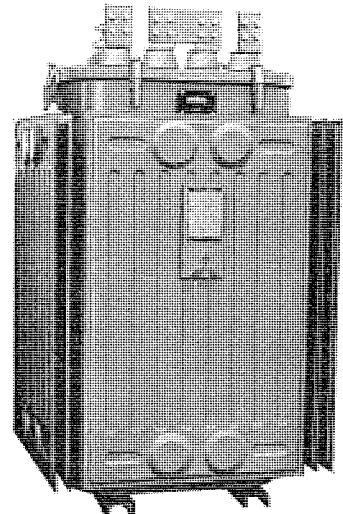


図 1 SF 形 単相 200 kVA パネルクーラータイプ  
変圧器

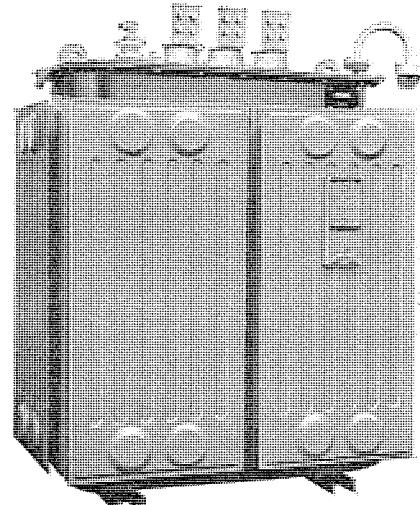


図 2 RAT 形 三相 300 kVA パネルクーラータイプ  
変圧器

## ステアエース KSS 形エスカレータ

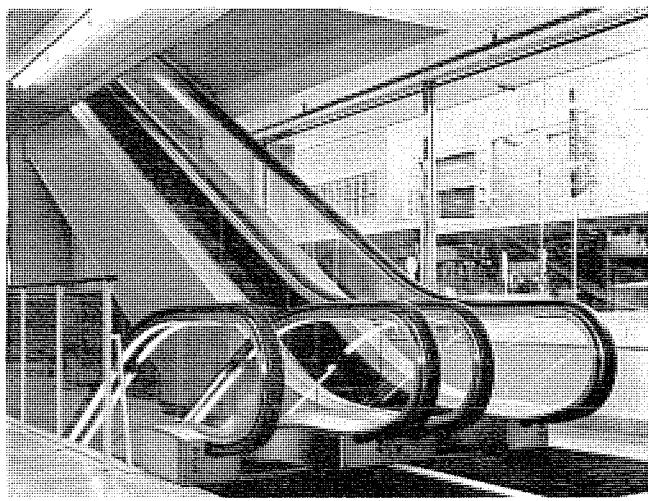
従来の概念では考えられなかった、欄干柱のない全透明形エスカレータ「ステアエース KSS 形」を完成した。

ステアエース KSS 形エスカレータは、最高級の意匠を誇る全透明形エスカレータで欄干のガラス

# 新製品紹介

## ■ 標準仕様

形 名	1200 KSS	800 KSS
欄干有効幅 mm	1,200	800
ステップ幅 mm	1,004	604
輸送能力人/時	9,000	5,500
速度 m/分	30	30
傾斜角度	30°	30°
使用電動機と階高	5.5 kW	4,700 mm 以下
	7.5 kW	4,000 mm 以下
	13.5 kW	4,000~7,700 mm
電 源	動力用	3φ 200 V 50 Hz, 200~220 V 60 Hz
	照明用	1φ 100 V 50 Hz, 100~110 V 60 Hz



ステアエース KSS 形 エスカレータ

パネルを鉛直に取付け、欄干をガラスパネルのみで保持したものである。

すでに松屋百貨店船橋店において、800K SS形が5台好評のうちに運転を開始しており、また現在建設中の新宿京王プラザホテル向けとして、6台製作中である。

## ■ 特長

(1) 欄干支柱を取り除き、強固な強化平面ガラスのみで欄干を構成した全透明欄干形エスカレータである。したがって透明欄干の意匠的効果が一段と向上し、軽快でシンプルな感覚は近代建築をよりいっそう引き立たせることができる。

(2) カスタムオーダーの建築意匠にあわせられるようガラスパネルは、着色透明ガラス(ブルンズ、グレーなど)も取付可能である。

(3) デッキボードは、銀白色アルマイトめっきをほどこした耐食アルミ合金で、透明効果と相まって落付いたふん気をかもし出すことができる。

(4) 所要スペースはK形エスカレータと同じである。

[稻沢製作所]

## “浮袋式のり網干出装置”を完成

### 一のり養殖の革命一

三菱電機は昨年の秋以来三浦半島城が島水域において、神奈川県水産試験場のご指導により、浮袋方式のり網干出装置の共同研究を行なってきたが、優秀な成果を上げたので、このたび“三菱膨張式のり網かんしゅつ(干出)装置”的名称で製品化に踏み切ることとした。

のり網養殖には昔から“支柱式”といって遠浅の海岸に支柱を立てて“のり網”を張り養殖を行なう方法が行なわれていた。この方法ではのり養殖に欠くことのできない“のり網”についての雑菌・雑草をとり除くため、毎日数時間“のり網”を大気中に乾燥させるいわゆる“干出作業”が潮の干満によって自然に行なわれていた。しかし最近は沿岸の埋立、

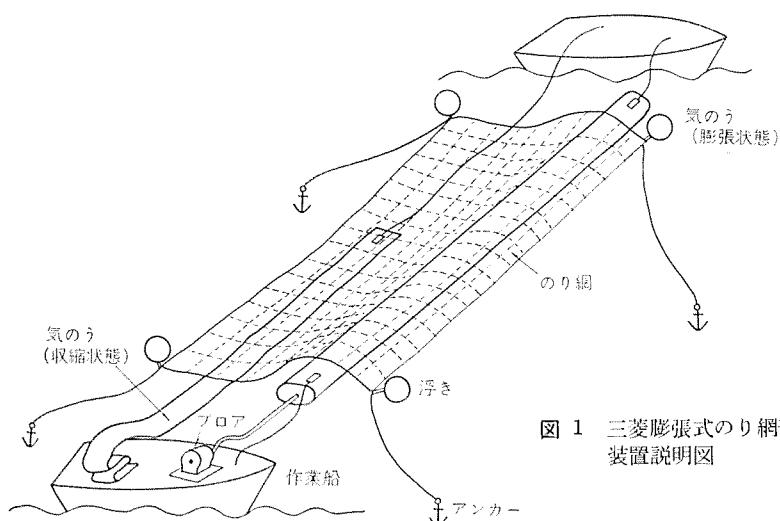


図 1 三菱膨張式のり網干出装置説明図

海水汚染などにより“支柱式”は次第にその範囲がせばめられてきている。

これに代わって進出してきたのが“浮流式”で，“のり網”にウキをつけて海面に浮かべて養殖する方法で、水深40mの海域まで養殖が可能であり、養殖水域も現在の約10倍に拡大することが可能といわれている。しかしこの方式では“干出作業”に大きな難点があり、現在は人手により船上に“のり網”を引き上げ、陸に運んでこれを干した後に再び海上に運んで浮流させるという作業を少くとも1日1回行なう必要があり、人手不足の折からこの労力は大きな隘路となっている。

今度開発した方法は、業界第一の市場占有率を誇る三菱電機の“救命いかだ”の技術を応用した世界にも類のない全く画期的なもので、図で示すように円筒形の“気のう”を空気を抜いた状態で“のり網”的下をくぐらせた後、これに空気を注入し、ふくらませのり網を大気中にもち上げる方法で、この方法によれば種網を作る作業も干出作業もり網を養殖現場より移動させる必要なく、わずかな人員で能率的にできるうえに、のり芽が痛められないでのり質も向上し採取量も増加するという利点がある。本件については特許および実用新案約10件を申請している。

#### 三菱膨張式のり網干出装置のおもな仕様

給排口について2本の膨張式チューブとこれに直交する“のり網”を支えるテープからなる。

全長	19m	全幅: 1.3m~1.5m
チューブの径	200mm	
浮力	1.2トン	
重量	約200kg	
膨張所要時間	約5分	
材質	ネオプレン(合成ゴム)	引き合成繊維

膨張用ブロアーの動力は、のり採取装置のエンジンを利用

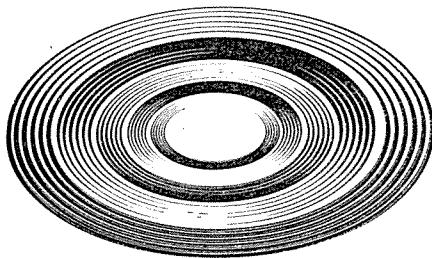
現在全国で使用されている“のり網”的数は600万枚で、そのうち“支柱式”が70%、“浮流式”が30%であるが、その割合は次第に逆転の傾向にある。“浮流式”は“支柱式”に比べて生産性がすぐれているといわれているが、この新方式により“浮流式”がさらに普及すればのりの生産は、飛躍的に増加し、安くておいしいのりが食膳に供されるようになることが期待される。

[相模製作所]



図 2 浮袋式のり網干出装置

# NEWS FLASH

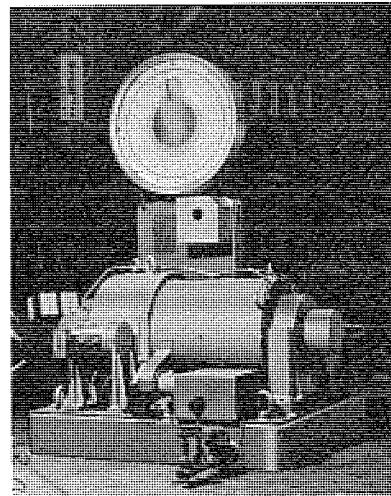


## 110 kW (150 PS) ユニバーサル ED ダイナモーティ完成!!

今回 ダイハツ工業株式会社のご協力により池田工場所向けとしてわが国最初の画期的 ユニバーサル ED ダイナモーティ (うず電流動力計) を納入し、現在好調に運転中である。ユニバーサル ED ダイナモーティとは、うず電流動力計と共に軸共通で極数変換かご形誘導電動機を内蔵したものであり、うず電流動力計の欠点である駆動機能を解決したものである。

したがって駆動トルクも直流電気動力計と同様に、計測できうず電流動力計の新しい応用分野を開拓することに成功した。誘導電動機端子に水銀端子を採用することにより、駆動時・吸収時とも高精度 ( $\pm 0.5\%$ ) のトルク計測ができる。定格事項は次のとおりである。

ED ダイナモーティ	誘導電動機
吸収容量	110 kW (150 PS)
回転数	2,500~8,000 rpm
冷却水量	60 l/min
冷却方式	間接式 (静圧給水)
定 格	連 続
自動はかり	荷重 90 kg
	計測 60
潤滑方式	ころがり軸受
	オイルミスト潤滑
容 量	24/12/8/4 kW
電 壓	200/220 V
周波数	50/60 Hz
回転数	3,000(3,600)/1,500(1,800)/ 1,000(1,200)/500(600) rpm
絶 緑	B 種
回転子	かご形
端 子	水銀端子



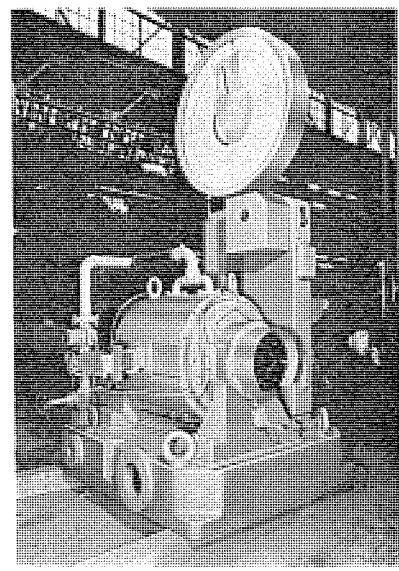
110 kW (150 PS) ユニバーサル ED ダイナモーティ

[神戸製作所]

## 370 kW (500 PS) 15,000 rpm ED ダイナモーティ (うず電流動力計) 完成!!

このたび某自動車メーカー向けとして、わが国記録品である超高速大容量うず電流動力計を完成納入した。超高速大容量機における電気的・機械的・熱的な問題点を解決するため、幾多の新方式を採用した。特に回転部剛性・冷却方式に留意し 15,000 rpm でありながら低振動であり、冷却水通水による針振れもない。定格事項は、次のとおりである。

形 式	EDW-50 特
吸収容量	370 kW (500 PS)
回転数	8,000~15,000 rpm
定 格	連 続
冷却方式	水冷 (直接冷却) 式
冷却水量	120 l/min
過速度	16,500 rpm 1 分間
回転子 $GD^2$	2.8 kg-m <sup>2</sup>
軸 受	ころがり軸受 オイルミスト潤滑
自動はかり	荷重 140 kg (計測 70) 照明付
計測精度	± 1 %
全重量	1,550 kg



370 kW (500 PS) 15,000 rpm ED ダイナモーティ

[神戸製作所]

# 本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (西100) (電) 東京(03) 218局2111番

大阪営業所	大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル)	(西530)	(電)	大阪(06)	343局1231番
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)	(西450)	(電)	名古屋(052)	561局5311番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社)	(西420)	(電)	静岡(0542)	54局4681番
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)	(西810)	(電)	福岡(092)	75局6231番
長崎出張所	長崎市丸尾町6番14号	(西850-91)	(電)	長崎(0958)	23局6101番
札幌営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)	(西060-91)	(電)	札幌(0122)	26局9111番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)	(西980)	(電)	仙台(0222)	21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号	(西930)	(電)	富山(0764)	31局8211番
広島営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)	(西730)	(電)	広島(0822)	47局5111番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館)	(西700)	(電)	岡山(0862)	25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号	(西760)	(電)	高松(0878)	51局0001番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)	(西100)	(電)	東京(03)	218局2111番
城北家電営業所	東京都文京区大塚3丁目3番1号(新茗渓ビル)	(西112)	(電)	東京(03)	944局6311番
城南家電営業所	東京都世田谷区池尻3丁目10番3号(三菱電機世田谷ビル)	(西154)	(電)	東京(03)	411局8181番
城西家電営業所	国分寺市南町2丁目16番14号(秀美ビル)	(西185)	(電)	国分寺(0423)	22局1881番
横浜家電営業所	横浜市中区富士見町3番地4	(西232)	(電)	横浜(045)	251局2226番
千葉家電営業所	千葉市新宿町2丁目49番地(三菱電機千葉ビル)	(西280)	(電)	千葉(0472)	42局5486番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1	(西530)	(電)	大阪(06)	344局1231番
洲本出張所	洲本市上物部2丁目6番33号	(西656)	(電)	洲本(07992)	2局0631番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)	(西450)	(電)	名古屋(052)	561局5311番
静岡出張所	静岡市小鹿2丁目1番22号	(西420)	(電)	静岡(0542)	85局6141番
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)	(西810)	(電)	福岡(092)	75局6231番
札幌商品営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)	(西060-91)	(電)	札幌(0122)	26局9111番
仙台商品営業所	仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル)	(西980)	(電)	仙台(0222)	21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地	(西920)	(電)	金沢(0762)	52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)	(西730)	(電)	広島(0822)	47局5111番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号	(西760)	(電)	高松(0878)	51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目12番地(北陸ビル)	(西950)	(電)	新潟(0252)	45局2151番
関東商品営業所	与野市上落合後原842番地	(西338)	(電)	与野(0488)	33局3181番
東京機器営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)	(西100)	(電)	東京(03)	218局2111番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1	(西530)	(電)	大阪(06)	344局1231番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地	(西661)	(電)	大阪(06)	491局8021番
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号	(西247)	(電)	鎌倉(0467)	46局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1	(西652)	(電)	神戸(078)	67局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地	(西661)	(電)	大阪(06)	491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地	(西669-13)	(電)	三田(07956)	4371番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号	(西852)	(電)	長崎(0958)	23局6211番
福沢製作所	福沢市菱町1番地	(西492)	(電)	福沢(0587)	32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地	(西640-91)	(電)	和歌山(0734)	23局7231番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地	(西247)	(電)	鎌倉(0467)	46局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地	(西661)	(電)	大阪(06)	491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地	(西664)	(電)	伊丹(0727)	82局5131番
熊本工場	熊本市竜田町弓削720番地	(西862)	(電)	熊本(0963)	62局7211番
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町18丁目1番地	(西461)	(電)	名古屋(052)	721局2111番
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地	(西819-01)	(電)	福岡今宿(09295)	6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号	(西720)	(電)	福山(0849)	21局3211番
姫路製作所	姫路市千代田町840番地	(西670)	(電)	姫路(0792)	23局1251番
相模製作所	相模原市宮下1丁目1番57号	(西229)	(電)	相模原(0427)	72局5131番
世田谷工場	東京都世田谷区池尻3丁目1番15号	(西154)	(電)	東京(03)	414局8111番
静岡製作所	静岡市小鹿3丁目18番1号	(西420)	(電)	静岡(0542)	85局1111番
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号	(西508)	(電)	中津川(05736)	5局7151番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号	(西247)	(電)	鎌倉(0467)	46局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号	(西963)	(電)	郡山(02492)	2局1220番
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地	(西370-04)	(電)	尾島(02765)	2局1111番
藤岡工場	藤岡市本郷字別所1173番地	(西375)	(電)	藤岡(02742)	2局1185番
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字岡所1番地	(西617)	(電)	京都西山(075)	921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前	(西380)	(電)	長野(0262)	27局1101番
ラジオ工場	尼崎市南清水字中野80番地	(西661)	(電)	大阪(06)	491局8021番
札幌営業所	札幌市北2条東12丁目98番地	(西060)	(電)	札幌(0122)	23局5544番

## 次号予定

三菱電機技報 Vol. 44 No. 8

### エレベータ特集

#### 《特集論文》

- 平常時におけるエレベータ交通のシミュレーションとその応用
- 超高速化の進む三菱シンクロログライドエレベータ
- アプローチディテクタ
- 高速エレベータの縦振動の解析
- 三菱 AS-A MARK II 全自動群管理エレベータ
- 新形エレベット
- 屋外用エレベータ

#### 《普通論文》

- 22 kV ミニクラッド (固体絶縁開閉装置)
- 回転曲面に分布する電流による磁界の計算法
- ビデオテープレコーダ VT-900
- 高温化学反応の実験的研究  
—メタンからアセチレン生成—
- 日本万国博覧会における三菱未来館の照明
- シルエトロン—日本万国博覧会三菱未来館設置電光映像装置
- 日本万国博覧会におけるリコー館のバルーン照明

### 三菱電機技報編集委員会

委員長 仙石廉  
副委員長 神崎邇  
常任委員 石川理一  
" 上田重夫  
" 宇佐見重夫  
" 北川和人  
" 古賀亨  
" 小堀富次雄  
" 鈴木正材  
" 牧野六彦

常任委員 淀武雄  
" 武藤正  
" 依田功  
委員 北垣成一  
" 南日達郎  
" 林昇寿  
" 松元雄蔵  
" 吉武正彦  
" 和田義勝  
(以上 50 音頃)

昭和 45 年 7 月 22 日印刷 昭和 45 年 7 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部金 100 円(送料別)

#### 編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

仙石廉

#### 印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

大日本印刷株式会社

(郵便番号 162)

#### 印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

高橋武夫

#### 発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号(郵便番号 100)

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」

(電) (03) 218 局 2323 番

#### 発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151) 株式会社 オーム社書店

(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 20018